



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Γεώργιος - Κωσταντίνος Μπόκος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Επίδραση της προσθήκης ιλύος βιολογικού καθαρισμού σε καλλιέργεια ηλίανθου

Επιβλέπων: Αντωνιάδης Βασίλης

Βόλος, 2017

1. Αντωνιάδης, Επίκουρος Καθηγητής (επιβλέπων)
2. Α. Δημήρκου, Καθηγήτρια
3. Ν. Δαναλάτος, Καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την υπομονή της στο πρόσωπό μου, και που με στήριξε ηθικά και οικονομικά στις επιλογές μου, δίνοντας μου την ευκαρία να σπουδάσω πάνω σε ένα αντικείμενο που από πάντα με ενδιέφερε. Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής διατριβής κ. Αντωνιάδη για την βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια του πειράματος καθώς και για την καθοδήγησή του στην συγγραφή της διατριβής. Εξίσου, σημαντικό θεωρώ να ευχαριστήσω την κ. Δημήρκου, που μοιραστήκαμε το ίδιο εργαστήριο για αρκετό χρονικό διάστημα. Επίσης, ευχαριστήρια στον καθηγητή κ. Δαναλάτο για την βοήθειά του στην εκπόνηση της εργασίας. Παράλληλα δε γίνεται να παραλείψω τους φίλους που με στήριξαν σε αυτήν την προσπάθεια αλλά και σε όλα τα φοιτητικά μου χρόνια. Τέλος, ευχαριστώ την κ. Γκόλια για την πολύτιμη βοήθειά της στο εργαστηριακό μέρος και την παροχή πολύτιμων γνώσεων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
1.1. Ηλίανθος	7
Ταξινόμηση	8
Βοτανικά γνωρίσματα του ηλίανθου	8
Οικολογικές Απαιτήσεις	9
Καλλιεργητικές πρακτικές	10
Απόδοση ηλίανθου	11
1.2. Θρεπτικά στοιχεία	12
Άζωτο	13
Φώσφορος	14
Κάλιο	15
Ιχνοστοιχεία	15
1.3. Ιλύς Βιολογικού Καθαρισμού	16
Αλκαλική επεξεργασία.	17
Θερμική επεξεργασία.	17
Κομποστοποίηση.	18
Επεξεργασία με γαιοσκώληκες.	18
Πλεονεκτήματα της χρήσης της επεξεργασμένης ιλύος	19
Μειονεκτήματα από την εφαρμογή ιλύος	20
Σκοπός	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλικά και Μέθοδοι	21
2.1. Πειραματικός σχεδιασμός	21
2.2.1. Εδαφολογικές μέθοδοι ανάλυσης	22
Προκατεργασία δείγματος	22
pH	22
Μέθοδοι εκχύλισης φωσφόρου	22
Εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA	25
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	26
Οργανική ουσία	26
Ανταλλάξιμα κατιόντα	27
Μέτρηση άμορφων οξειδίων Fe, Mn	28
2.2.2. Φυτοκομικές μέθοδοι ανάλυσης	29
Προετοιμασία και εκχύλιση φυτομάζας	29
Διαδικασία αποτέφρωσης φυτικού ιστού	29
Μέτρηση φωσφόρου	30
Ιχνοστοιχεία	31
2.3. Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων	31
3.1. Αναλύσεις εδάφους	32
Τιμές pH στο έδαφος	32
Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος	33
Τιμές σιδήρου στο έδαφος	34
Τιμές χαλκού στο έδαφος	35
Τιμές ψευδαργύρου στο έδαφος	36
Τιμές μαγγανίου στο έδαφος	37

Τιμές καλίου στο έδαφος	38
Τιμές νατρίου στο έδαφος	39
Τιμές ασβεστίου στο έδαφος	40
Τιμές μαγνησίου στο έδαφος	41
Τιμές οργανικής ουσίας στο έδαφος	42
Τιμές φωσφόρου στο έδαφος	43
3.2 Αναλύσεις φυτού	44
Τιμές καλίου στο φυτό	44
Τιμές φωσφόρου στο φυτό	45
Τιμές νατρίου στο φυτό	46
Τιμές χαλκού στο φυτό	47
Τιμές ασβεστίου στο φυτό	48
Τιμές μαγγανίου στο φυτό	49
Τιμές μαγνησίου στο φυτό	50
Τιμές σιδήρου στο φυτό	51
Τιμές ψευδαργύρου στο φυτό	52
Συμπεράσματα	53
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής διατριβής είναι να μελετήσει και να ερευνήσει τις επιδράσεις της ιλύος βιολογικού καθαρισμού στο έδαφος και στο φυτό ηλιάνθο. Αρχικά, κρίθηκε αν υπάρχει μια ανάλυση σχετικά με το φυτό ηλιάνθο και τις απαιτήσεις του. Στη συνέχεια μελετήθηκε η ιλύς, οι τρόποι επεξεργασίας της, και επιπρόσθετα παραθέτονται θετικά και αρνητικά που περιμένουμε από την χρήση της. Κατόπιν, ακολουθούν οι διαδικασίες και οι ενέργειες που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αναλύσεις. Όσον αφορά το πείραμα η ιλύς χρησιμοποιήθηκε σαν λίπασμα προκειμένου να σχολιαστούν και να κριθούν οι επιδράσεις της στο έδαφος και στην καλλιέργεια. Συγκεκριμένα υπήρχε ο μάρτυρας στον οποίο δεν έγινε καμία προσθήκη ιλύος, και άλλες τέσσερις μεταχειρίσεις. Αρχικά, προσθέσαμε 365 kg νωπή ιλύος, δηλαδή 6.9 kg N ποσότητα που ισοδυναμεί με το ήμισυ της καλλιέργειας καλαμποκιού. Στην επόμενη μεταχείριση προσθέσαμε 717 kg ιλύος, κατά την οποία προστέθηκε δόση αζώτου που ισοδυναμεί με την απαραίτητη συνιστώμενη σε μια καλλιέργεια καλαμποκιού. Εν συνεχεία, έγινε εφαρμογή διπλάσιας δόσης ιλύος (1434kg) έχοντας στο έδαφος 27,6 kg αζώτου. Στην πέμπτη και τελευταία μεταχείριση προσθέσαμε ανόργανο λίπασμα, το οποίο είχε ίση δόση αζώτου με την δεύτερη μεταχείριση. Μετά το πέρας της δειγματοληψίας και τις απαραίτητες διεργασίες τόσο στα εδαφολογικά δείγματα όσο και στα φυτικά μετρήσαμε την περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία (P-K) και σε ιχνοστοιχεία. Στα εδαφικά έγιναν επιπλέον μετρήσεις που αφορούσαν το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την οργανική ουσία. Η τελευταία είχε την μέγιστη τιμή της στην μεγαλύτερη δόση ιλύος που προσθέσαμε. Παρατηρήθηκε επίσης πως στα μέταλλα Mg, Na, Cu και Fe είχαμε ασήμαντες μεταβολές των τιμών τους όσον αφορά τις μετρήσεις που έγιναν για το έδαφος. Στο φυτό, οι τιμές των θρεπτικών αλλά και των ιχνοστοιχείων μεταβλήθηκαν ασήμαντα. Επίσης, οι τιμές της δεύτερης μεταχείρισης και της τελευταίας, με το ανόργανο λίπασμα, δεν έχουν σημαντικές διαφορές καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Τέλος, ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την συμπλήρωση του θεωρητικού μέρους της διατριβής.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Ηλίανθος

Σύμφωνα με τους Γαλανοπούλου και Σενδούκα (2002) ο ηλίανθος κατάγεται από την Κεντρική Αμερική. Οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τον καρπό του για τροφή, ως φάρμακο και για καλλωπισμό ήταν οι Ινδιάνοι. Οι Φασούλας και Σενλόγλου (1966) αναφέρουν ότι ο ηλίανθος μεταφέρθηκε στην Ευρώπη από τους Ισπανούς και για πολλά χρόνια θεωρούνταν καλλωπιστικό φυτό, ενώ το 19ο αιώνα βρέθηκε ότι το φυτό μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βρώσιμου ελαίου. Η διάδοσή του ως ελαιούχο φυτό ξεκίνησε από τη Ρωσία, όπου και η καλλιέργειά του εξακολουθεί να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της φυτικής παραγωγής της χώρας. Σήμερα σημαντική έκταση κατέχει σε χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και σε ορισμένες της Κεντρικής Αμερικής (Γαλανοπούλου και Σενδούκα, 2002). Η δημιουργία και η χρήση υβριδίων συνέβαλε στην επέκταση της καλλιέργειας σε νέες περιοχές. Τέλος, στον Ελλαδικό χώρο καλλιεργείται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, στη Μακεδονία και τη Θράκη όπου προσαρμόζεται καλύτερα (Ξανθόπουλος, 1993, και Σφήκας, 1988).

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους ηλιοσπορών. Ο πρώτος ο οποίος αφορά την υπό μορφή ξηρών καρπών (“πασσατέμπο”) και διαθέτει μεγάλους σπόρους με σκληρό φλοιό και ψίχα. Στο δεύτερο ο οποίος προορίζεται για την εξαγωγή ελαίου και έχει μικρότερους, σκουρόχρωμους και γεμάτους σπόρους (Αμπατζόγλου, 1979). Η καταλληλότητα του παραγόμενου ηλιέλαιου για διαφορετικές χρήσεις καθορίζεται από την σύστασή του σε λιπαρά οξέα και την περιεκτικότητά του σε αντιοξειδωτικά. Η σύνθεση του ηλιέλαιου εξαρτάται από το γονότυπο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο ηλίανθος με βάση τη σύσταση του ελαίου του διακρίνεται σε συμβατικό με περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ 14%-39%, mid-oleic με περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ 42%-72% και high-oleic με περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ 75%-91% (Codex Alimentarius Committee, 2005). Το έλαιο που παράγεται από τα high oleic υβρίδια

είναι κατάλληλο για παραγωγή βιοντίζελ και η σύνθεσή του δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Škorić, 1992). Το έλαιο του ηλίανθου για να χρησιμοποιηθεί σαν βιοκαύσιμο έχει υπολογιστεί ότι πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 40% ελαϊκό οξύ. Έτσι για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι κατάλληλα τα mid-oleic και τα high-oleic υβρίδια (Pereyra-Irujo et al., 2009).

Η παραγωγή ηλιέλαιου παρουσιάζει αύξηση τα τελευταία έτη και η παγκόσμια παραγωγή ξεπερνά τα 23,5 εκατ. tn σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία του FAO (2014). Η Ευρώπη παράγει το 58,9% της παγκόσμιας παραγωγής και τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ανοδικές τάσεις. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλιέλαιου είναι η Ρωσία, η Ουκρανία, η Αργεντινή, η Κίνα και η Γαλλία.

Ταξινόμηση

Ο καλλιεργούμενος ηλίανθος είναι δικοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην οικογένεια Asteraceae της τάξης Compositae στο είδος *Helianthus annuus* L. Έχει αριθμό χρωμοσωμάτων $x=17$ με $2x=2n=34$ χρωμοσώματα και πολλαπλασιάζεται με σπέρματα (Βαρδαβάκης, 1994). Τα φύλλα είναι αντικριστά, ωοειδή, με στρώματα που έχουν 3 κύρια νεύρα μήκους 10-30 εκ. και πλάτους 5-20 εκ, ενώ τα χαμηλότερα φύλλα είναι αντικριστά και καρδιόσχημα. Περιφερειακά είναι οδοντωτά ή πριονωτά και φέρουν πολλές νευρώσεις. Οι ποικιλίες διακρίνονται αναλόγως του ύψους σε υψηλόσωμες, μετριόσωμες και χαμηλόσωμες (Ξανθόπουλος, 1993).

Βοτανικά γνωρίσματα του ηλίανθου

Σύμφωνα με τον Αυγουλά (2008) ο ηλίανθος στη περιοχή της Μεσογείου σπέρνεται Απρίλιο και συγκομίζεται Αύγουστο. Ο βιολογικός του κύκλος απαιτεί 80 έως 170 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία, τις κλιματικές συνθήκες και τον χρόνο σποράς.

Ο ηλίανθος αναπτύσσει ένα βαθύ ριζικό σύστημα, πασσαλώδες το οποίο έχει βρεθεί να ξεπερνά τα 2 m (Sandras et al., 1989). Απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα νερού από βαθιά στρώματα εδάφους σε σχέση με άλλα φυτά. Παρουσιάζει όμως μικρή διεισδυτικότητα (Bremmer και Preston,

1990). Το φύτευμα και η ανάπτυξη των φυτών πάνω από την επιφάνεια του εδάφους γίνεται με την ενεργοποίηση και την επιμήκυνση του υποκοτυλίου. Το φύτευμα γίνεται εύκολα με κανονικές θερμοκρασίες και έδαφος χωρίς κρούστα (Αυγουλάς 2008). Η βλάστηση των σπόρων του ηλίανθου επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες από 3 έως 30 °C, είναι όμως ταχύτερη από 6 έως 23°C (Connor και Sandras, 1992).

Ο βλαστός αποκτά ύψος 0,5-4 m και η διάμετρος του στελέχους είναι 1-5 cm. Στις καλλιεργούμενες ποικιλίες το ύψος του στελέχους είναι συνήθως 1,60-1,80 m και η διάμετρος 2-3 cm, ενώ έχουν δημιουργηθεί και ποικιλίες με ύψος στελέχους 1-1,5 m που διευκολύνουν τη μηχανική συγκομιδή. Το φυτό αποκτά το μέγιστο ύψος του στα μισά του βιολογικού κύκλου (Αυγουλάς, 2008).

Τα φύλλα είναι 20-30 έμμισχα και διαφορετικού μεγέθους. Τα μεγαλύτερα βρίσκονται μεταξύ 8ου και 20ου κόμβου, αρχίζοντας από τη βάση (Αυγουλάς 2008). Το στέλεχος, τα φύλλα αλλά και τα περισσότερα μέρη του φυτού καλύπτονται συνήθως από τρίχες (Αυγουλάς, 2008).

Η ταξιανθία είναι επάκρια, κύπτουσα. Είναι κεφαλή σε σχήμα δίσκου, με διάμετρο 7,5-60 cm και ακτινωτή διάταξη των πολυάριθμων ανθέων της. Το χείλος του δίσκου περιβάλλεται από οξύληκτα βράκτια, χνουδωτά στην εξωτερική τους επιφάνεια, τοποθετημένα στις τρεις επάλληλες σειρές (Αυγουλάς, 2008). Τα περιφερειακά άνθη είναι άγονα και έχουν στεφάνη όπως και τα υπόλοιπα άνθη, με πέντε ενωμένα πέταλα που σχηματίζουν σωλήνες. Μοναδικός σκοπός των περιφερειακών ανθέων είναι να προσελκύουν τα έντομα. Τα εσωτερικά άνθη είναι τοποθετημένα σε ομόκεντρα τόξα, το καθένα περιβάλλεται από ένα βράκτιο, έχουν κάλυκα με δύο σέπαλα, πέντε πέταλα ενωμένα σε σωλήνα, ενώ οι πέντε στήμονες που ξεκινούν από τη βάση της στεφάνης είναι ελεύθεροι στη βάση και ενωμένοι στην κορυφή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το φαινόμενο του ηλιοτροπισμού, κατά το οποίο οι αναπτυσσόμενες ταξιανθίες μέχρι της άνθησής τους, τα βράκτια και τα νεαρά φύλλα ακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2002).

Οικολογικές Απαιτήσεις

Ο ηλίανθος προσαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία εδαφών, από τα πολύ φτωχά μέχρι τα πολύ γόνιμα, όμως καλύτερα σε εδάφη μάλλον ελαφρά, όπου δεν παρεμποδίζεται η διεύδυση της ρίζας. Προτιμά καλά στραγγιζόμενα εδάφη, όπως όλα τα βαθύρριζα φυτά. Ανέχεται pH εδάφους από 5,7 έως 8 αλλά το άριστο βρίσκεται μεταξύ 6 και 7,2 (Γαλανοπούλου – Σενδούκα, 2002). Ευδοκμεί σε μεγάλη ποικιλία κλιματικών συνθηκών, από τη Ρωσία ως την Αργεντινή. Άριστες θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του ηλίανθου είναι 24-25°C την ημέρα και 18-20°C τη νύχτα. Τα νεαρά φυτά αντέχουν πολύ στο κρύο, έως -2°C στο στάδιο των κοτυληδόνων και έως -8°C στο στάδιο ενός ζεύγους φύλλων. Στη συνέχεια όμως γίνονται περισσότερο ευαίσθητα (Γαλανοπούλου – Σενδούκα, 2002). Στη φωτοπερίοδο είναι ουδέτερο. Υπάρχουν ποικιλίες μικρής και μεγάλης ημέρας. Τα καλλιεργούμενα υβρίδια χρειάζονται περί τα 650 m³ νερού ανά στρέμμα για την καλλιεργητική περίοδο (Αυγουλάς, 2008).

Καλλιεργητικές πρακτικές

Αμειψισπορά. Ο ξηρικός ηλίανθος έχει θέση στην αμειψισπορά των σιταγρών, με πλεονεκτήματα το διαφορετικό βάθος του ριζικού συστήματος και των θρεπτικών συστατικών και των διαφορετικών ζιζανίων, εχθρών και ασθενειών. Καλό προηγούμενο για τον ηλίανθο αποτελεί το σιτάρι, ενώ η συνεχής καλλιέργειά του αποδίδει λιγότερο. Είναι καλό προηγούμενο για τις καλλιέργειες που ακολουθούν σε αλατούχα εδάφη (Ξανθόπουλος, 1993).

Προετοιμασία αγρού. Πρέπει να καταστρέφεται το αδιαπέραστο υπεδάφιο στρώμα επειδή το φυτό είναι βαθύρριζο, ενώ το επιφανειακό στρώμα της σποροκλίνης πρέπει να είναι ελαφρά ψιλοχωματισμένο (Γαλανοπούλου–Σενδούκα, 2002).

Αντιμετώπιση ζιζανίων. Ο ηλίανθος παθαίνει ζημιές μόνο κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξής του. Στη συνέχεια γίνεται ιδιαίτερα αποπνικτικό για τα ζιζάνια. Η αντιμετώπιση γίνεται με μηχανικά και χημικά μέσα (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2002).

Λίπανση. Ο ηλίανθος χρειάζεται συνήθως 8 μονάδες αζώτου και 5 φωσφόρου και σχετικά μεγάλες ποσότητες ασβεστίου, σιδήρου, μαγνησίου, χαλκού και βορίου (Ξανθόπουλος 1993). Η υπερβολική ποσότητα αζώτου μειώνει την περιεκτικότητα σε λάδι των σπόρων, ενώ ο φώσφορος και το κάλιο την αυξάνουν (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2002).

Σπορά. Πρέπει να σπέρνεται πρώιμα, ιδιαίτερα ο ξηρικός. Σπέρνεται με μηχανές ακρίβειας αραβοσίτου ή ζαχαροτεύτλων, σε βάθος 3-10 cm αναλόγως της υγρασίας και του μεγέθους των σπόρων. Οι συνήθεις αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς είναι 60-75 cm και επί της γραμμής 15-20 cm. Η ποσότητα του σπόρου κυμαίνεται από 0,5-1,5 kg/στρ και η άριστη πυκνότητα είναι 5000-6000 φυτά/στρ. Μείωση του αριθμού των φυτών κατά 10-15% δεν υποβαθμίζει σοβαρά την απόδοση καθώς η απώλεια αντισταθμίζεται από την αύξηση του βάρους των σπόρων (Ξανθόπουλος, 1993).

Άρδευση. Καλλιεργείται ως ξηρικός, επωφελείται όμως από την άρδευση και υπερδιπλασιάζει τις αποδόσεις του. Η άρδευση αυξάνει την περιεκτικότητα σε λάδι και βελτιώνει την ποιότητα των πρωτεϊνών (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2002).

Συγκομιδή. Όταν η πίσω επιφάνεια των ταξιανθιών γίνει κίτρινη σημειώνεται η φυσιολογική ωρίμανση. Η συγκομιδή γίνεται όταν η υγρασία του σπόρου πέσει στο 10-15%, τότε όλα τα φύλλα κιτρινίζουν και τα κάτω φύλλα ξεραίνονται. Καθυστέρηση της συγκομιδής μπορεί να αυξήσει τις απώλειες από τα πουλιά και τις ασθένειες. Η συγκομιδή γίνεται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές σιταριού ή καλαμποκιού (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2002). Ο εμπορεύσιμος σπόρος έχει υγρασία έως 10% και ξένες ύλες έως 2% (Ξανθόπουλος, 1993).

Απόδοση ηλίανθου

Οι αποδόσεις του ηλίανθου υπό ελληνικές συνθήκες καθορίζονται κυρίως από τις κλιματολογικές συνθήκες, την εποχή σποράς, την άρδευση, την λίπανση, την επιλογή της ποικιλίας, την πυκνότητα σποράς και από το έδαφος. Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η καθυστερημένη σπορά μπορεί να αποφέρει μείωση παραγωγής από 20 έως 50%. Το δυναμικό παραγωγής του ηλίανθου στην Ελλάδα είναι 450-500 κιλά/στρ (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008). Η απόδοση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού όπως αυτά της δυτικής Θεσσαλίας κάτω από μειωμένες εισροές άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης (Geronikolaou et al., 2005, Danalatos et al., 2005). Τέτοιες αποδόσεις είναι τρεις φορές υψηλότερες σε σύγκριση με τις αποδόσεις ηλίανθου που λαμβάνουν χώρα στη βόρεια Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα από τρεις νομούς (Κιλκίς, Καρδίτσα, Αγρίνιο) τα καλλιεργητικά έτη 2007 και 2008 (όχι ιδανικές κλιματολογικές συνθήκες) οι παραγωγικότητες, σε μέτρια αρδευομένου και λιπασμέ-

νους αγρούς, κυμάνθηκε από 240-370 κιλά/στρ, ενώ σε ξηρικούς αγρούς η απόδοση ήταν 60-90 κιλά/στρ (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

1.2. Θρεπτικά στοιχεία

Εισαγωγή

Ως αυτότροφοι οργανισμοί, τα φυτά είναι ικανά να αξιοποιούν υλικά και ενέργεια που βρίσκουν στο αβιοτικό περιβάλλον για την παραγωγή των οργανικών μορίων τα οποία απαιτούνται για την κατασκευή της βιομάζας τους και το σύνολο των φυσιολογικών τους λειτουργιών. Η παρουσία στο περιβάλλον του συνόλου των ανόργανων στοιχείων τα οποία απαιτούν τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου. Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, όπως ονομάζονται, επιπλέον θα πρέπει να απαντούν ως χημικές αφομοιώσιμες μορφές και στις κατάλληλες συγκεντρώσεις και μεταξύ τους αναλογίες ώστε η απορρόφησή τους από το ριζικό σύστημα των φυτών να πραγματοποιείται απρόσκοπτα (Βερεσόγλου, 2010, Δροσόπουλος, 1998). Η πρόσληψη και η αξιοποίηση των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων από τους φυτικούς οργανισμούς δεν αποτελεί μόνο προϋπόθεση για την επιτυχημένη διαβίωσή τους αλλά και μια σημαντική διαδικασία μέσω της οποίας η ύλη του αβιοτικού περιβάλλοντος προσφέρεται προς τους ετερότροφους οργανισμούς - καταναλωτές (Taiz και Zeiger, 1998). Στους φυτικούς ιστούς μπορούν να ανιχνευτούν έως και 60 διαφορετικά ανόργανα στοιχεία. Από αυτά, ένας περιορισμένος αριθμός ανήκει στην κατηγορία των ονομαζόμενων απαραίτητων στοιχείων, χωρίς τα οποία δεν είναι δυνατή η ομαλή ανάπτυξη και ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του φυτού. Έως σήμερα, 17 ανόργανα στοιχεία έχουν χαρακτηριστεί ως απαραίτητα για τα φυτά. Πρόκειται για τα C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl, B και Ni, τα οποία κατανέμονται σε μακροστοιχεία (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe) και μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία (Mn, Cu, Zn, Mo, Cl, B, Ni), καθώς τα τελευταία απαιτούνται σε πολύ μικρότερες ποσότητες συγκριτικά με τα προηγούμενα. Υπάρχουν επίσης ορισμένα στοιχεία τα οποία θεωρούνται απαραίτητα σε ιδιαίτερες ομάδες κατώτερων ή ανώτερων φυτών αλλά όχι για το σύνολο των ειδών. Για το λόγο αυτό δεν περιλαμβάνονται στον πίνακα των απαραίτητων θρεπτικών

στοιχείων. Αναφέρονται δε ως ωφέλιμα θρεπτικά στοιχεία και ορισμένα από αυτά είναι τα Na, Co, Si, V, Se, Ga, Al, J και Ti. Τα βασικά ανόργανα θρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για τη δόμηση της φυτικής βιομάζας, προσλαμβάνονται από την ατμόσφαιρα και το έδαφος. Ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O) και το υδρογόνο (H) παρέχονται μέσω των CO₂, O₂ και H₂O ενώ τα υπόλοιπα ως ιόντα με την βοήθεια του ριζικού συστήματος από το εδαφικό διάλυμα (Μήτσιος, 2004).

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004) τα θρεπτικά στοιχεία των φυτών διαχωρίζονται σε μακροστοιχεία και σε ιχνοστοιχεία. Τα μακροθρεπτικά στοιχεία προσλαμβάνονται από τα φυτά σε μεγαλύτερες ποσότητες από ότι προσλαμβάνονται τα μικροθρεπτικά. Τα θρεπτικά στοιχεία N, P, K, Ca, Mg και S ανήκουν στα μακροθρεπτικά διότι αντλούνται από το έδαφος σε μεγαλύτερες ποσότητες και βρίσκονται στους φυτικούς ιστούς σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Τα στοιχεία N, P, K διακρίνονται ως κύρια θρεπτικά στοιχεία ενώ τα Ca, Mg και S στα δευτερεύοντα μακροθρεπτικά. Τα στοιχεία Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B και Cl ανήκουν στην ομάδα των μικροθρεπτικών, εξαιτίας της παρουσίας τους στο σύστημα εδάφους-φυτού. Συνήθως σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Τα στοιχεία αυτά παλαιότερα ονομαζόταν και ιχνοστοιχεία.

Ο Ρόλος των Κύριων Θρεπτικών

Άζωτο

Το άζωτο συνιστά βασικό συστατικό αρκετών ενώσεων των ιστών των φυτών. Τέτοιες ενώσεις είναι τα αμινοξέα, τα νουκλεοξέα, οι πρωτεΐνες και η χλωροφύλλη. Συνεπώς το άζωτο είναι το θεμελιώδες στοιχείο για την ανάπτυξη, την καρποφορία και την αναπαραγωγή του φυτού και δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υπάρχει έλλειψή του ή μειωμένη περιεκτικότητά του στο έδαφος. Το μοριακό άζωτο είναι στοιχείο, αδρανές, άοσμο, άγευστο, σε αέρια κατάσταση και ως τέτοιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το φυτό. Το άζωτο της ατμόσφαιρας δεσμεύεται στο έδαφος από κατηγορία μικροοργανισμών που ονομάζονται αζωτοβακτήρια, τα οποία αναπτύσσονται στις ρίζες των ψυχανθών. Τα φυτά απορροφούν το άζωτο από το έδαφος με τα ριζικά τριχίδια σε μορφή ιόντων. Τα νιτρικά ιόντα προσλαμβάνονται γενικώς με μεγαλύτερη ευκολία απ' ό,τι τα αμμωνιακά ιόντα. Στις χαμηλές όμως θερμοκρασίες και στα αρχικά βλαστικά στάδια τα λαχανικά απορροφούν το ίδιο καλά ή και λίγο καλύτερα το αμμωνιακό άζωτο, γι' αυτό και σ' αυτές τις

συνθήκες χρησιμοποιούνται τα αμμωνιακά λιπάσματα. Επιπλέον τα νιτρικά ιόντα, ως αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, δεν συγκρατούνται από την αρνητικά επίσης φορτισμένη εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων της αργίλου και για το λόγο αυτό εκπλένονται εύκολα προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Για το λόγο αυτό και χρησιμοποιούνται στις επιφανειακές λιπάνσεις και μάλιστα σε περισσότερες από μία δόσεις. Αντίθετα, τα αμμωνιακά κατιόντα μπορούν να συγκρατηθούν από τα σωματίδια της αργίλου, εκπλένονται δυσκολότερα και άρα παραμένουν για περισσότερο χρόνο διαθέσιμα στα φυτά. Έτσι, τα αμμωνιακά λιπάσματα συνιστάται να χρησιμοποιούνται στις λιπάνσεις, κατά την περίοδο των βροχών του χειμώνα και νωρίς την άνοιξη. Το άζωτο είναι το στοιχείο που τα φυτά χρησιμοποιούν σε μεγάλες ποσότητες, αλλά και το στοιχείο που εκπλένεται περισσότερο από κάθε άλλο, γι' αυτό κάθε χρόνο πρέπει να λιπαίνεται το έδαφος και μάλιστα με περισσότερες από μία δόσεις. Από τα χρησιμοποιούμενα αζωτούχα χημικά λιπάσματα άλλα αυξάνουν και άλλα μειώνουν την οξύτητα του εδάφους. Αυξάνουν την οξύτητα και γι' αυτό χρησιμοποιούνται στα ελαφρώς αλατούχα ή ουδέτερα εδάφη (με υψηλό pH) τα αμμωνιακά λιπάσματα (θειική αμμωνία, φωσφορική αμμωνία, νιτρική αμμωνία) και η ουρία. Αυξάνουν την αλκαλικότητα (μειώνουν την οξύτητα) και χρησιμοποιούνται σε μερικώς όξινα εδάφη τα νιτρικά λιπάσματα (νιτρικό κάλιο, νιτρικό νάτριο και νιτρικό ασβέστιο) και η κυαναμίδη του ασβεστίου. Ουδέτερο λίπασμα θεωρείται η ασβεστούχος νιτρική αμμωνία. Έχει αποδειχτεί ότι τα εδάφη είναι τόσο ελλειματικά σε άζωτο όσο σε κανένα άλλο στοιχείο και κατά συνέπεια ο εμπλουτισμός τους έχει ως αποτέλεσμα την άμεση αύξηση της βλαστικής δραστηριότητας και της παραγωγής καρπών, στοιχεία που είναι εύκολα αντιληπτά από τον καλλιεργητή (Κανάκης, 2003).

Φώσφορος

Ο φώσφορος είναι συστατικό των φωσφορολιπιδίων, των νουκλεοπρωτεϊνών και άλλων ουσιών με μεγάλη ενέργεια (ATP και ADP). Έτσι, ο φώσφορος είναι το στοιχείο το οποίο αποτελεί το κέντρο των συστημάτων μεταφοράς ενέργειας από το ένα κύτταρο στο άλλο. Ο φώσφορος δεν απαντά ελεύθερος στη φύση και είναι σταθερά ενωμένος στα συστατικά του εδάφους, απ' όπου αποσπάται δύσκολα από τα φυτά. Δύσκολα όμως αποπλένεται και από το έδαφος. Ο φώσφορος ενθαρρύνει τη ριζοβόληση στα φυτά και το φύτευμα των σπόρων, στηρίζει την καλή ανάπτυξη της βλάστησης των φυτών και βελτιώνει την ποιότητα των καρπών των λαχανικών. Η διαθεσιμότητα

τητα του φωσφόρου στα φυτά εξαρτάται από το pH του εδάφους. Σε pH 5-7 είναι εύκολα διαθέσιμος στα φυτά, ενώ σε pH ίσο με 7 έως 10 σχηματίζει αδιάλυτα άλατα με το ασβέστιο και σε pH 2 έως 5 σχηματίζει δυσδιάλυτα άλατα με το σίδηρο και το αργίλιο. Ο φώσφορος είναι δυσκίνητο στοιχείο, συγκρατείται με σχετικά μεγάλες δυνάμεις από τα κολλοειδή του εδάφους και δεν είναι διαθέσιμος στο εδαφικό διάλυμα (Κανάκης, 2003).

Κάλιο

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004) το κάλιο, μαζί με το άζωτο και το φώσφορο απαιτούνται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες για την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Παρότι δεν αποτελεί δομικό στοιχείο των φυτικών ιστών είναι απαραίτητο για άλλες διεργασίες όπως είναι η σύνθεση του αμύλου, των αμινοξέων, των πρωτεϊνών. Είναι επίσης απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση. Η σωστή αναλογία του καλίου-αζώτου-φωσφόρου, συμβάλει:

- 1) Στη δημιουργία γερού ριζικού συστήματος
- 2) Στην αντοχή στο πλάγιασμα
- 3) Στην ανθεκτικότητα σε ορισμένες ασθένειες

Οι απόψεις δίστανται όσον αφορά την σκοπιμότητα των καλιούχων λιπασμάτων με σκοπό την βελτίωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Στο έδαφος το κάλιο είναι εναποθετημένο σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά της αργίλου, ιδιαίτερα στα βαριάς συστάσεως εδάφη (αργιλώδη). Η ποσότητα του ανταλλάξιμου καλίου είναι μεταξύ 10 και 100 φορές μεγαλύτερη από τη ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Η ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα ρυθμίζεται αποτελεσματικά από το ανταλλάξιμο κάλιο. Η ποσότητά του που αποδεσμεύεται από τα ορυκτά εξαρτάται από α) το είδος των φυτών, β) το είδος των ορυκτών, γ) την αποσάθρωση των ορυκτών και δ) το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η διαθεσιμότητα του καλίου εκφράζει την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με K^+ κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Μήτσιος, 2004).

Ιχνοστοιχεία

Ως μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία ορίζονται τα στοιχεία που είναι απαραίτητα σε ίχνη (συνήθως σε ppm) για τα φυτά (Μήτσιος, 2004). Τα κυριότερα από αυτά είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το μολυβδαίνιο (Mo), το βόριο (B) και το χλώριο (Cl) το οποίο αν και συναντάται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις στα φυτά εντάσσεται στα ιχνοστοιχεία. Εκτός από αυτά τα στοιχεία υπάρχουν ενδείξεις ότι και το νικέλιο (Ni) είναι απαραίτητο για ορισμένα φυτά σύμφωνα με τους Eskew και άλλους (1983). Εκτός από τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, υπάρχουν και ανόργανα στοιχεία τα οποία αποκαθιστούν τοξικές επιδράσεις άλλων στοιχείων ή απλά αντικαθιστούν ανόργανα στοιχεία σε μερικές λιγότερο εξειδικευμένες λειτουργίες, όπως είναι η ωσμωτική πίεση, τα οποία χαρακτηρίζονται ως ωφέλιμα στοιχεία (Marschner, 1995). Σε αυτά εντάσσονται το νάτριο (Na), το πυρίτιο (Si), το κοβάλτιο (Co) και το βανάδιο (V). Η αναγκαιότητα του Na για τα φυτά με φωτοσυνθετικό μηχανισμό αναφέρεται από τον Brownell (1968) ενώ θεωρείται απαραίτητο για άριστη ανάπτυξη στο σέλινο, το σπανάκι, το ζαχαρότευτλο, το παντζάρι και το γογγύλι (Lehr, 1953). Το πυρίτιο είναι το δεύτερο σε αφθονία στοιχείο στο έδαφος αλλά δεν θεωρείται απαραίτητο για τα φυτά σύμφωνα με τα κριτήρια των Arnon and Stout. Υπάρχουν όμως ισχυρές ενδείξεις ότι το Si έχει ωφέλιμες επιδράσεις στην ανάπτυξη των φυτών κάτω από συνθήκες βιοτικής ή αβιοτικής καταπόνησης (Rogalla and Rmheld, 2002, Heckman κ.σ., 2003). Το κοβάλτιο ενώ είναι αναγκαίο για τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου από τα βακτήρια, τα ριζόβια των ψυχανθών και τα κυανοβακτήρια, δεν είναι απαραίτητο για τα ανώτερα φυτά (Marschner, 1995). Το βανάδιο είναι απαραίτητο μόνο για μερικούς μικροοργανισμούς (Nicholas, 1961). Αποτελούν συστατικά ενζύμων και συνενζύμων και ενεργοποιούν ενζυμικές και άλλες αντιδράσεις ως καταλύτες. Οι διαφορές όσον αφορά τον ρόλο κάθε ιχνοστοιχείου αντανakλώνται και στις μέσες συγκεντρώσεις στους φυτικούς ιστούς που αυτά είναι επαρκή για κανονική ανάπτυξη. Δε συνιστάται η λίπανση των χωραφιών με ιχνοστοιχεία, παρά μόνο όταν διαπιστωθεί η έλλειψή τους (Κανάκης, 2003).

1.3. Ιλύς Βιολογικού Καθαρισμού

Η επεξεργασία των οργανικών αστικών λυμάτων διέπεται από την οδηγία 91/271/EC του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991, με τις μετέπειτα συμπληρώσεις της, συνιστά το σημαντικότερο νομικό μόρφωμα για το θέμα της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Μεταξύ των άλλων καθο-

ρίζει ότι η ιλύς πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, όταν αυτό κρίνεται σκόπιμο, και να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των τυχόν επιζήμιων επιδράσεων της στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα η αφυδατωμένη ιλύς είναι το αρχικό στερεό προϊόν που παράγεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Είναι οργανικό υλικό με υψηλό μικροβιακό φορτίο, υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και ποικίλη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα αλλά και θρεπτικά στοιχεία (κυρίως N) απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Fytili και Zabaniotou, 2008). Η σταθεροποίηση της αφυδατωμένης ιλύος (δηλαδή η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών) αποτελεί προϋπόθεση για τη διάθεσή της στο περιβάλλον, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία [ΚΥΑ 80568/4225/91 (ΦΕΚ 641/Β/7-08-1991)] η οποία είναι εναρμονισμένη με την αντίστοιχη ευρωπαϊκή οδηγία 86/278/EEC.

Αλκαλική επεξεργασία.

Με την προσθήκη ασβέστη στην ιλύ μειώνεται το μικροβιακό της φορτίο και η διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων εξαιτίας της αύξησης του pH στην έντονα αλκαλική περιοχή, καθώς και η υγρασία της. Εξαιτίας της μείωσης της περιεκτικότητας της ιλύος σε υγρασία, βελτιώνεται η κοκκομετρία της και αυξάνει η δυνατότητα ομοιόμορφης διασποράς της. Για την αλκαλική επεξεργασία της αφυδατωμένης ιλύος, αντί ασβέστη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η ασβεστοποιητική σκωρία χαλυβουργίας, ένα υποπροϊόν της διαδικασίας εξευγενισμού του χάλυβα, λόγω της ισχυρά αλκαλικής αντίδρασής της. Η συγκεκριμένη σκωρία είναι ανόργανο λεπτόκοκκο υλικό, με υψηλή περιεκτικότητα σε CaCO_3 , στο οποίο οφείλεται η ισχυρά αλκαλική αντίδρασή της και περιέχει διάφορα στοιχεία, ορισμένα από τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Besga κ.σ., 1997). Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται στην κατασκευή δρόμων, φραγμάτων και βραχιόνων λιμένων, στην σταθεροποίηση του υπεδάφους, αλλά και ως υλικό ασβέστωσης σε όξινα εδάφη (Besga κ.σ., 1997, Rodriguez κ.σ., 1994).

Θερμική επεξεργασία.

Το μικροβιακό φορτίο, όπως και η υγρασία της ιλύος, μειώνεται με θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία σε κλίβανο. Όμως, η θερμική όπως και η αλκαλική επεξεργασία που αναφέρεται προη-

γουμένως προκαλούν καταστροφή μεγάλου μέρους της οργανικής ουσίας της αφυδατωμένης ιλύος, καθώς και απώλεια τμήματος του N της με μορφή αέριας NH_3 (Fytili και Zabaniotou, 2008).

Κομποστοποίηση.

Μεταξύ των διαφόρων αερόβιων βιολογικών μεθόδων σταθεροποίησης της ιλύος θεωρείται ως η πιο πρακτική, διαδεδομένη και εύκολα εφαρμόσιμη λύση, με τις μικρότερες απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις.

Επεξεργασία με γαιοσκώληκες.

Η επεξεργασία της ιλύος με γαιοσκώληκες συνιστά διεθνώς μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική πρακτική. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος που ενισχύονται με την μέθοδο αυτήν είναι η αύξηση της υδατοχωρητικότητάς της και της απορρόφησης P και K, η μείωση του λόγου C/N, η ταχύτερη εξαφάνιση των οσμών κ.α. Όμως, όπως και στην κομποστοποίηση, η χρονική διάρκεια επεξεργασίας της ιλύος μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις δύο πρώτες μεθόδους. Με κάθε περίπτωση επεξεργασίας, το προϊόν που προκύπτει χαρακτηρίζεται ως "επεξεργασμένη ιλύς" αστικών λυμάτων. Η επεξεργασμένη ιλύς μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον με απόθεσή της σε χώρους υγειονομικής ταφής. Όμως αυτός ο τρόπος διαχείρισής της φαίνεται να μην είναι αποτελεσματικός, εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης παραγωγής αστικών αποβλήτων και επομένως της συσσώρευσης μεγάλου ρυπαντικού φορτίου στις περιοχές απόθεσης, με κίνδυνο πάντα την διαρροή στραγγιδίων προς τα παρακείμενα ρέματα ή τον υπόγειο υδροφόρα. Άλλοι τρόποι διάθεσης της ιλύος είναι η χρήση της ως καύσιμη ύλη στην βιομηχανία, για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων περιοχών, ως ένα γενικό εδαφοβελτιωτικό και ως λίπασμα στην γεωργία (Alves κ.σ., 2006, Fytili και Zabaniotou, 2008). Αν και η αγρονομική χρήση της ιλύος είναι αρκετά παλιά πρακτική, τελευταία γίνεται όλο και πιο δημοφιλής γιατί απαντά στα προαναφερόμενα προβλήματα απόθεσής της σε χώρους υγειονομικής ταφής (Jarausch-Wehrheim κ.σ., 2001). Φυσικά σε κάθε περίπτωση διάθεσης της επεξεργασμένης ιλύος στο περιβάλλον πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή ανεπιθύμητων συνεπειών, όπως είναι η επιβάρυνση του περιβάλλο-

ντος με βαρέα μέταλλα και τυχόν άλλους ρυπαντές (Morera κ.σ., 2001, Singh και Agrawal, 2007, Tsadilas κ.σ., 1995)

Πλεονεκτήματα της χρήσης της επεξεργασμένης ιλύος

Η εντατικοποίηση των καλλιεργειών και οι πρακτικές που ακολουθούνται συχνά οδηγούν σε σταδιακή μείωση της οργανικής ουσίας, με συνέπεια την υποβάθμιση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους (Pan κ.σ., 2010, Weber κ.σ., 2007). Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα σοβαρό στα εδάφη των μεσογειακών χωρών όπως η δικιά μας, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, και όχι μόνον, ευνοούν την υψηλή ετήσια ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), μεταξύ των εδαφών κρατών της νότιας Ευρώπης, εκτιμάται ότι το 95,4% των ελληνικών εδαφών έχει περιεκτικότητα σε οργανικό C \leq 2% (Van Camp κ.σ., 2004, Zdruli κ.σ., 2004). Επομένως, η χρήση οργανικών αποβλήτων, όπως η επεξεργασμένη ιλύς αστικών λυμάτων, ως εδαφοβελτιωτικών είναι μια γενικά αποδεκτή πρακτική, που έχει ως αποτέλεσμα αφενός την ανακύκλωση του αποβλήτου και αφετέρου την βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους μέσω του εμπλουτισμού του με οργανική ουσία (Diacono και Montemurro, 2010, Samaras κ.σ., 2008, Smith, 1996, Weber κ.σ., 2007). Επιπλέον, συντελεί στη μείωση των εκπομπών CO₂ και N₂O, τα οποία εκλύονται εξαιτίας της οξείδωσης της οργανικής ουσίας της επεξεργασμένης ιλύος, όταν αυτή αποτίθεται σε ανοιχτό εξωτερικό χώρο (Clapp κ.σ., 2007, Diacono και Montemurro, 2010, Smith, 1996). Εκτός από υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η επεξεργασμένη ιλύς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά, κυρίως μακροθρεπτικά (N, αλλά και P και Ca). Επομένως, η χρήση της ως γενικό εδαφοβελτιωτικό έχει θετική επίπτωση και στην γονιμότητα του εδάφους (Diacono και Montemurro, 2010, Nascimento κ.σ., 2013, Smith, 1996). Με βάση τα προαναφερόμενα, η επεξεργασμένη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, πιθανώς βραδείας απελευθέρωσης εξαιτίας της οργανικής της φύσης. Αυτό σημαίνει ότι τα θρεπτικά στοιχεία (ιδιαίτερα τα μακροθρεπτικά) απελευθερώνονται με τέτοιους ρυθμούς ώστε κυρίως προσλαμβάνονται από τα φυτά και δεν χάνονται με βαθειά διήθηση και με επιφανειακή απορροή (όπως ο P) ή δεν δεσμεύονται από τα εδαφικά κolloειδή τεμαχίδια (όπως το K). Αν και στην διεθνή βιβλιογραφία, η ιδέα της χρήσης της επεξεργασμένης ιλύος ως λίπασμα είναι αρκετά παλιά (Rudolfs, 1928), το θέμα αυτό ερευνάται συστηματικά κυρίως μετά το 2000 (Antoniadis κ.σ.,

2015, Ferreiro-Domingez κ.σ., 2011, Koutroubas κ.σ., 2014, Mantovi κ.σ., 2005, Samaras κ.σ., 2008).

Μειονεκτήματα από την εφαρμογή ιλύος

Εκτός από τις προαναφερόμενες ευνοϊκές επιδράσεις, η αγρονομική χρήση της επεξεργασμένης ιλύος μπορεί να κρύβει και ορισμένους κινδύνους που σχετίζονται με την περιεκτικότητά της σε βαρέα μέταλλα. Είναι γνωστό ότι κάποια από αυτά τα μέταλλα (π.χ. Cu, Fe, Zn, Mn) είναι απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τους οργανισμούς, αλλά πάντα σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις και δεν πρέπει να παρατηρείτε συνεχόμενη έκθεση-συσσώρευση σε αυτά τα βαρέα μέταλλα (Jarausch-Wehrheim κ.σ., 2001). Τα βαρέα μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες σχετίζονται με τα βιομηχανικά απόβλητα, ενώ τα αστικά απόβλητα αντιμετωπίζονται ως άμεση πηγή παθογόνων οργανισμών και συνήθως χαρακτηρίζονται από χαμηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών ουσιών (Alves κ.σ., 2006). Ωστόσο, υπάρχουν και αστικά απόβλητα πλούσια σε βαρέα μέταλλα (π.χ. Zn, Cd, Pb, Cr) που πάνω από κάποια όρια μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά, τα ζώα και μέσω της τροφικής αλυσίδας περνάνε στον άνθρωπο (Alloway, 2013). Συνεχής εφαρμογή επεξεργασμένης ιλύος στο έδαφος πιθανώς να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ολικών ποσών των βαρέων μετάλλων σε αυτό (Morera κ.σ., 2001, Tsadilas κ.σ., 1995). Όμως μόνο μία μικρή ποσότητα από την ολική υπάρχει στην ιλύ με άμεσα διαθέσιμες (υδατοδιαλυτές) μορφές για τα φυτά. Ο Zn μπορεί να είναι συνδεδεμένος με τα οξείδια Mn και Fe, ενώ ο Cu να είναι συμπλοκοποιημένος με την οργανική ουσία (Luo και Christie, 1998, Wysokinski κ.σ., 2009), όπως και ο Pb και το Cr (Tsadilas κ.σ., 1995). Συγκεκριμένα, ανάλογα με τις ιδιότητες των εδαφών στα οποία προστίθεται η ιλύς, η κινητικότητα και επομένως η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων μπορεί να μειωθεί (Antoniadis κ.σ., 2010, Morera κ.σ., 2001). Είναι γνωστό ότι η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από ιδιότητες του εδάφους όπως είναι το pH, η περιεκτικότητα σε υγρασία, οργανική ουσία και άργιλο και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) (Alloway, 2013, Kabata-Pendias, 2011). Ως γενική σύσταση προτιμάται η εφαρμογή ιλύος χαμηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα σε ουδέτερα έως αλκαλικά εδάφη ξηρών περιοχών, καθώς με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η χαμηλή πρόσληψη των μετάλλων από τα φυτά, τα ζώα και κατ' επέκταση τον άνθρωπο (Smith, 1996).

Σκοπός

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να διερευνηθεί κατά πόσο η ιλύς βιολογικού καθαρισμού μπορεί να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες του ηλίανθου και να εφαρμοστεί στη καλλιέργειά του, αλλά και να εντοπιστούν πιθανοί ρυπαντές που ενδέχεται να περιέχονται στην ιλύ και να συσσωρευτούν στους φυτικούς ιστούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Πειραματικός σχεδιασμός

Ο σκοπός του πειράματος ήταν εφαρμογή ιλύς βιολογικού καθαρισμού σε φυτό ηλίανθου. Για να δούμε τα αποτελέσματα στην καλλιέργεια έπρεπε να γίνουν κάποιες μεταχειρίσεις.

Αρχικά είχαμε τον μάρτυρα, στον οποίο δεν προσθέσαμε κανένα υλικό. Στην επόμενη μεταχείριση, τη δεύτερη, προσθέσαμε 359 kg νωπή ιλύς ανά τεμάχιο, κατά εκτίμηση προκύπτει πως προστέθηκαν 6.9 kg N ανά στρέμμα, ποσότητα που ισοδυναμεί με το ήμισυ των απαιτήσεων της καλλιέργειας του καλαμποκιού. Στην τρίτη μεταχείριση προσθέσαμε 717 kg νωπή ιλύς ανά τεμάχιο, εκτιμάται ότι προστέθηκαν 13.8 kg N ανά στρέμμα, μία ποσότητα που είναι ισοδύναμη των απαιτήσεων της καλλιέργειας του καλαμποκιού. Στην τέταρτη δειγματική σειρά προστέθηκαν 1434 kg νωπή ιλύς ανά τεμάχιο, δηλαδή 27,6 kg N ανά στρέμμα, διπλάσια ποσότητα των απαιτήσεων μιας καλλιέργειας καλαμποκιού. Στην πέμπτη και τελευταία μεταχείριση προσθέσαμε ανόργανο λίπασμα όπου κατά την προσθήκη της συνιστώμενης δόσης προστέθηκαν 13,8 kg N/

στρέμμα.

2.2.1. Εδαφολογικές μέθοδοι ανάλυσης

Προκατεργασία δείγματος

Αρχικά το δείγμα θα απλωθεί και θα αρχίσει η αεροζήρανσή του. Το χρονικό διάστημα εξαρτάται από την κοκκομετρική σύστασή του, τα ελαφρά εδάφη χρειάζονται 2-3 ημέρες ενώ τα αργιλώδη έως και 10 ημέρες. Εναλλακτική μέθοδος είναι η τοποθέτηση των εδαφών σε χαρτοσακούλες και πάνω σε αλουμινένιους δίσκους που τοποθετούνται σε φούρνους σε 400-500 °C, με αυτήν την μέθοδο η αεροζήρανση θα χρειαστεί 2-3 ημέρες. Στην συνέχεια έχουμε την λειοτρίβηση των δειγμάτων σε πορσελάνινο γουδί και κατόπιν κοσκίνισμα σε κόσκινο ανοίγματος 2 mm. Τέλος τα δείγματα είναι έτοιμα για αναλύσεις αποθηκευμένα σε χαρτονένια κουτιά.

pH

Ζύγισμα 10 g εδάφους και τοποθέτηση σε μπουκαλάκια τύπου falcon των 50 mL και προσθήκη 25 mL νερού. Ύστερα ανακίνηση για 10 λεπτά και έπειτα σε ηρεμία για 30 λεπτά. Η μέτρηση γίνεται με ηλεκτρονικό πεχάμετρο, εκεί γίνεται ρύθμιση με ρυθμιστικά διαλύματα pH 7 και pH 4. Κατά την διάρκεια της μέτρησης γίνεται έλεγχος του ηλεκτροδίου κάθε 20 δείγματα με ρυθμιστικό διάλυμα με pH 7. Σε δείγματα νερού μέτρηση γίνεται με εμβάπτιση του ηλεκτροδίου του πεχαμέτρου στο διάλυμα.

Μέθοδοι εκχύλισης φωσφόρου

Η μέτρηση φωσφόρου γίνεται σε δύο στάδια: εκχύλιση, ανάπτυξη κυανού χρώματος και μέτρηση. Η εκχύλιση γίνεται με πολλές μεθόδους, αντιθέτως η μέτρηση γίνεται με την ανάπτυξη κυανού χρώματος στα εκχυλίσματα και η διαδικασία είναι κοινή για όλες τις μεθόδους εκχύλισης.

Ανάπτυξη κυανού χρώματος

Αντιδραστήρια:

Αντιδραστήριο Α

1. Μολυβδαινικό αμμώνιο, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: Διαλύονται 12 g μολυβδαινικού αμμωνίου σε περίπου 250 mL αποσταγμένου νερού.
2. Τρυγικό κάλιο-αντιμονύλιο, $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}$: Διαλύονται 0,2908 g σε περίπου 100 mL αποσταγμένο νερό.
3. Θεικό οξύ, H_2SO_4 : Σε ογκομετρική φιάλη του 1 L προστίθενται 140 mL πυκνό θεικό οξύ και συμπληρώνεται μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

Σε ογκομετρική φιάλη 2L, μεταφέρουμε τα τρία αντιδραστήρια και συμπληρώνουμε νερό ως την χαραγή. Όλο το μείγμα ονομάζεται αντιδραστήριο Α .

Αντιδραστήριο Β

Σε 100 mL του αντιδραστηρίου Α διαλύουμε 0,528 g ασκορβικού οξέος. Αυτό το μίγμα έχει κίτρινο χρώμα και είναι το αντιδραστήριο Β.

Παρασκευή διαλύματος 5ppm P

Από stock solution 1000 ppm P, λαμβάνουμε 1 mL, το οποίο μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη 200 mL και συμπλήρωμα της φιάλης μέχρι την χαραγή με απιονισμένο νερό.

Εάν δεν υπάρχει έτοιμο stock solution 1000 ppm P, τότε η παρασκευή δείγματος γίνεται ως εξής: ζύγισμα 0,4394 g ευδιάλυτου φωσφορικού άλατος KH_2PO_4 (ή 0,5747 g Na_2HPO_4) και διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη 100 mL, τέλος παρασκευή δείγματος 5 ppm όπως αναφέρεται παραπάνω.

HCl 0,2098 M: με αραίωση 20 mL πυκνού HCl σε 1000 mL H_2O .

NaOH 1 M: διαλύουμε 40 g NaOH σε 1000 mL H_2O .

Έλεγχος και ρύθμιση pH του κυανού διαλύματος

Τα διαλύματα στα οποία έχει αναπτυχθεί κυανό χρώμα θα πρέπει να έχουν ουδέτερο pH και η ρύθμισή του γίνεται με NaOH 1 M ή HCl 0,2098 M σε κάθε φουρνιά ανάλυσης μόνο στο standard του 0 ppm P. Η ποσότητα οξέος ή βάσης που υπολογίζεται σε αυτό το standard προστί-

θεται σε όλα τα διαλύματα της φουρνιάς ανάλυσης, εκτός αν οι συνθήκες είναι ίδιες από ανάλυση σε ανάλυση τότε η ποσότητα NaOH 1 M ή HCl 0,2098 M παραμένει ίδια κάθε φορά.

Μέτρηση εκχυλίσματος

Τα διαλύματα στα οποία έχει αναπτυχθεί κυανό χρώμα μετρούνται σε μήκος κύματος 882 nm στο φασματοφωτόμετρο. Η διαδικασία αυτή γίνεται τόσο για τα άγνωστα δείγματα όσο και για τα πρότυπα.

Υπολογισμός καμπύλης βαθμολόγησης φασματοφωτόμετρου

Αρχικά κάνουμε την καμπύλη βαθμολόγησης από τις μετρήσεις των πρότυπων διαλυμάτων. Μέσω της καμπύλης υπολογίζουμε την συγκέντρωση στο άγνωστο δείγμα.

Μέθοδος Olsen

Αντιδραστήρια

- 0.5 M NaHCO₃ pH 8.5. Διαλύουμε 84,01 g NaHCO₃ σε 1800 mL H₂O. Ελέγχουμε το pH και ρυθμίζουμε στην τιμή 8,5 είτε με 0,2098 M HCl είτε με 0,3 M NaOH. Μεταφέρουμε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη 2 L και συμπληρώνουμε με H₂O μέχρι τη χαραγή.

Εκχύλιση

- σε μπουκαλάκια τύπου falcon 50 mL ζυγίζουμε 1 g εδάφους
- προσθήκη 20 mL 0,5 M NaHCO₃
- ανάδευση 30 min
- διήθηση με διηθητικό χαρτί σε πλαστικά δοχεία και παραλαβή εκχυλίσματος

Ανάπτυξη χρώματος σε άγνωστο δείγμα

- χρησιμοποίηση φιάλης 25 ml
- λαμβάνουμε 5 ml εκχυλίσματος
- προσθήκη 2,5 ml αντιδραστηρίου B

- ρύθμιση pH σε τιμή 7-8
- συμπλήρωμα με νερό ως την χαραγή

Ανάπτυξη χρώματος «γνωστού» δείγματος (standard)

Σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml:

- Προστίθενται σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 ml διαλύματος 5 ppm P διαδοχικά στις 6 φιάλες. Έτσι δημιουργούνται πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και 1.2 ppm (mg P L⁻¹), αντίστοιχα.
- Λαμβάνουμε 5 ml διαλύματος 0.5 NaHCO₃ pH 8.5.
- Προσθέτουμε 2,5 ml αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ)
- Ρυθμίζουμε το pH στην τιμή 7 με 8 mL 1 M NaOH.
- Συμπλήρωμα H₂O έως τη χαραγή.

Τέλος 30 min για την ανάπτυξη χρώματος και μέτρηση pH.

ΤΥΠΟΣ: Φώσφορος (mg kg⁻¹ εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης * mL ογκομετρικής φιάλης/mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) * (A/B). Όπου A ppm P στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g.

Εδώ, Φώσφορος (mg kg⁻¹ εδάφους) = (20 * 25 /5) * (A/B)

Φώσφορος (mg kg⁻¹ εδάφους) = 100 * (A/B)

Εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA

Το διάλυμα DTPA (diethylo-triamino-penta-acetic acid, διαίθυλο-τριάμινο-πέντα-οξικό οξύ) παρασκευάζεται με την ανάμιξη 9,835 g DTPA, 7,4 g CaCl₂·2H₂O και 74.5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L H₂O. Το pH του διαλύματος με λίγες σταγόνες HCl γίνεται 7,3. Η απαρχή της εκχύλισης γίνεται με ζύγισμα 10 g εδάφους σε πλαστικό μπουκάλι τύπου falcon των 30 mL και ανάμιξή του με 20mL DTPA. Εν συνεχεία ανακίνηση για 2 ώρες, έπειτα φυγοκέντρηση και διήθηση. Η μέτρηση του εκχυλίσματος γίνεται σε ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία.

Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ακόλουθο τύπο:

$M \text{ (mg kg}^{-1} \text{ εδάφους)} = A * (\text{mL διαλύματος εκχύλισης}/B)$

M=ιχνοστοιχεία που εκχυλίζονται, A η συγκέντρωση που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση και B το βάρος του εδάφους σε g.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Είναι ο δείκτης της περιεκτικότητας αλάτων σε ένα διάλυμα. Το απολύτως καθαρό νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος άρα όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος τόσο υψηλότερη είναι και η περιεκτικότητά του σε άλατα και αντίστροφα όσο πιο απιονισμένο το νερό τόσο μεγαλύτερη η αντίστασή του στο ηλεκτρικό ρεύμα. Η προσέγγιση γίνεται σε εκχύλισμα κορεσμού και θεωρείται η αντιπροσωπευτικότερη για την εκτίμηση της αλατότητας του εδάφους. Οι μονάδες μέτρησης της E_{Ce} είναι mS cm⁻¹ ή μS cm⁻¹ και οι τιμές σε ένα φυσιολογικό έδαφος είναι E_{Ce} < 2 mS cm⁻¹ ή < 2000 μS cm⁻¹. Αν οι τιμές ξεπερνούν τα όρια θα πρέπει να προτιμηθούν καλλιέργειες ανθεκτικές στην αλατότητα και να γίνουν προσπάθειες έκπλυσης της περίσσειας των αλάτων.

Για μέτρηση της αγωγιμότητας ζυγίζουμε 10 g εδάφους σε μπουκαλάκια τύπου falcon 50 mL και προσθέτουμε 50 mL απιονισμένου νερού, αφού ανακινήσουμε 20 min γίνεται η μέτρηση των δειγμάτων.

Οργανική ουσία

Υλικά και αντιδραστήρια

- Διάλυμα 0,166 M K₂Cr₂O₇: Διαλύουμε 49,04 g ξηρού K₂Cr₂O₇ σε 1 L H₂O.
- Διάλυμα 0,5 M FeSO₄·7H₂O: Διαλύουμε 140 g FeSO₄·7H₂O σε περίπου 500 mL H₂O και προστίθενται 15 mL πυκνού H₂SO₄. Όταν το διάλυμα ψυχθεί συμπληρώνουμε μέχρι όγκου 1 L με H₂O.
- Πυκνό H₃PO₄
- Πυκνό H₂SO₄
- Δείκτης διφαινυλαμίνης: Διαλύουμε 0,5 g διφαινυλαμίνης (barium diphenylamine sulfonate) σε 20 mL H₂O και 100 mL πυκνού H₂SO₄.
- Ποτήρι ζέσεως 50 mL
- Προχοΐδα 50 mL
- Κωνική φιάλη 500 mL

- Ογκομετρικός κύλινδρος 100 mL

Αρχικά ζυγίζουμε περίπου 50 g εδάφους, τα οποία τα καταγράφουμε ακριβώς. Στην συνέχεια προσθέτουμε 10 mL 0,166 M $K_2Cr_2O_7$ και 10 mL πυκνό H_2SO_4 . Το δείγμα αφήνεται για 30 min προκειμένου να γίνει οξείδωση της οργανικής ουσίας. Κατόπιν το αιώρημα διηθείται μέσα από διηθητικό χαρτί σε κωνική φιάλη 500 mL, χρησιμοποιώντας για βοήθεια 20 mL H_2O (τα μετράμε σε ογκομετρικό κύλινδρο 100 mL που έχουμε μπροστά μας). Στο τέλος της διήθησης έχουμε την προσθήκη 10 mL πυκνού H_3PO_4 στο διαυγές διήθημα και πριν την ογκομέτρηση προσθήκη 5 σταγόνων δείκτη διφαινυλαμίνη στην κωνική. Στην προχοΐδα είναι τοποθετημένο διάλυμα 0,5 M $FeSO_4$ και με αυτό γίνεται η ογκομέτρηση του διχρωμικού καλίου που περίσσεψε από την οξείδωση της οργανικής ουσίας. Στην αρχή το διάλυμα έχει χρώμα σκούρο καφέ, λίγο πριν το τέλος της ογκομέτρησης γίνεται έντονο βαθύ μπλε και στο τέλος έχει αποκτήσει πράσινο. Η διαδικασία πρέπει να γίνει και σε ένα λεγόμενο λευκό δείγμα, που περιέχει όλα τα άλλα εκτός από έδαφος. Ο λόγος είναι ότι στο διάλυμα του θεικού σιδήρου ο $FeII$ οξειδώνεται βαθμιαία σε $FeIII$ με την επαφή του διαλύματος με τον αέρα, και άρα έτσι «μειώνεται» η συγκέντρωσή του.

Υπολογισμοί αποτελεσμάτων

Στο τέλος του πειράματος πρέπει να έχετε στη διάθεσή σας τα εξής δεδομένα:

A= τα mL που χρειάστηκαν για την ογκομέτρηση του άγνωστου δείγματος

B= τα mL που χρειάστηκαν για την ογκομέτρηση του «λευκού» δείγματος

Γ= τα g του εδάφους που ζυγίσαμε στην αρχή.

Ο τελικός τύπος υπολογισμού του οργανικού άνθρακα (OC) είναι ο εξής: $OC\% = 0,195 \cdot (B-A)/\Gamma$, και η οργανική ουσία, $OM=OC/0,58$, γιατί θεωρούμε ότι ο C αποτελεί το 58% της οργανικής ουσίας.

Ανταλλάξιμα κατιόντα

Αντιδραστήρια: 1 M CH_3COONH_4 pH 7: Ζυγίζονται 78,06 g CH_3COONH_4 σε 800 mL νερού. Το pH ρυθμίζεται στο 7 με λίγες σταγόνες αραιής NH_4OH ή αραιού CH_3COOH . Κατόπιν ο όγκος συμπληρώνεται σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL μέχρι τη χαραγή.

Διαδικασία : Ζύγισμα 3 g εδάφους σε πλαστικές φιάλες τύπου falcon και προσθήκη 30 mL οξικό αμμώνιο (CH_3COONH_4 1 M pH 7). Ακολουθεί ανακίνηση μία ώρα και διήθηση με διαυγές υπερ-

κείμενο σε πλαστικές φιάλες. Στη συνέχεια κάνουμε αραίωση 100 φορές για τη μέτρηση Ca και Mg, 10 φορές αραίωση για μέτρηση K και τέλος για το Na. Η μέτρηση γίνεται σε πυκνό διάλυμα. K και Na μετράμε στο φλογοφωτόμετρο ενώ Ca και Mg στην ατομική απορρόφηση.

Οι τύποι είναι :

$K, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 391) * (A / B)$

όπου A είναι η συγκέντρωση νατρίου σε mg L^{-1} που παίρνεται από το φλογοφωτόμετρο, 391 είναι ο συντελεστής μετατροπής του K από ppm σε cmolc kg^{-1} (γιατί $1 \text{ cmolc K kg}^{-1} = 391 \text{ mg K kg}^{-1}$) και B το βάρος του εδάφους σε γραμμάρια. Ομοίως

$Na, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 229,9) * (A / B)$

$Ca, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 200,4) * (A / B)$

$Mg, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 121,55) * (A / B)$

Εδώ, $K, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = 0,77 * (A / B)$

$Na, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = 0,13 * (A / B)$

$Ca, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = 14,97 * (A / B)$

$Mg, \text{ cmolc kg}^{-1} \text{ εδάφους} = 24,68 * (A / B)$

Μέτρηση άμορφων οξειδίων Fe, Mn

Τα άμορφα οξείδια εκχυλίζονται όπως και ο φώσφορος με την μέθοδο το οξαλικού αμμωνίου και η μέτρησή τους πραγματοποιείται στην ατομική απορρόφηση αφού έχει γίνει αραίωση του εκχυλίσματος 100 φορές. Ο τύπος υπολογισμού είναι: $M = (mL \text{ διαλύματος εκχύλισης}) * (\text{φορές αραίωσης}) * A/B \text{ mg kg}^{-1} \text{ εδάφους}$

Όπου M είναι τα στοιχεία που εκχυλίζονται (Fe, Al και Mn), A η συγκέντρωση (mg L^{-1}) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση, και B το βάρος του εδάφους σε g.

Εδώ, $M = 2000 * A/B \text{ mg kg}^{-1} \text{ εδάφους}$

2.2.2. Φυτοκομικές μέθοδοι ανάλυσης

Προετοιμασία και εκχύλιση φυτομάζας

Αρχικά το φυτικό υλικό θα πλυθεί με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια θα τοποθετηθεί σε χάρτινες σακούλες σε ειδικό φούρνο στις 70°C , αυτό θα διαρκέσει δύο τρεις ημέρες και ο στόχος είναι η περαιτέρω απώλεια βάρους. Στη συνέχεια θα γίνει κονιορτοποίηση σε μύλο άλεσης και το δείγμα θα τοποθετηθεί σε πλαστικές σακούλες έτοιμο για τις εκχυλίσεις. Η εκχύλιση με αποτέφρωση έχει σκοπό τη μέτρηση μη πτητικών συστατικών.

Διαδικασία αποτέφρωσης φυτικού ιστού

Σκοπός: Η καταστροφή της οργανικής ουσίας των φυτικών ιστών ή οποιουδήποτε άλλου βιολογικού δείγματος σε υψηλή θερμοκρασία.

Αντιδραστήρια: HCl 20% v/v. Η διάλυση γίνεται σε αποσταγμένο νερό 200 mL ανά 1000 mL σε τελικό δείγμα.

Καύση: χρειαζόμαστε 0,5 g του κονιορτοποιημένου φυτικού ιστού, τοποθέτηση σε χωνευτήρια πορσελάνης σε ηλεκτρικό φούρνο στους 500°C για 4 ώρες.

Εκχύλιση: όταν οι κάψες αποτέφρωσης παγώσουν, η τέφρα του φυτικού ιστού αναμιγνύεται με 20 mL 20% HCl και διηθείται από διηθητικό χαρτί σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL.

Αραίωση: τέλος, αραιώνουμε τα δείγματα 100 φορές για μέτρηση μακροστοιχείων, 20 φορές αραιώση για μέτρηση P και K, και με το πυκνό θα μετρήσουμε ιχνοστοιχεία όπως B, Mn, Fe, Cu και Zn.

Μέτρηση φωσφόρου

Η διαδικασία γίνεται όπως του εδάφους, δηλαδή με την ανάπτυξη κυανού χρώματος.

Σε φιάλες των 25 mL κάνουμε την εξής διαδικασία για ανάπτυξη χρώματος σε άγνωστο δείγμα: χρειαζόμαστε 10 mL εκχυλίσματος από την αποτέφρωση, στην συνέχεια προσθέτουμε 2,5 mL αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίζουμε το pH στις τιμές 7 έως 11 με την βοήθεια 1 M NaOH. Τέλος συμπλήρωση απιονισμένου νερού ως την χαραγή.

Για την ανάπτυξη χρώματος σε γνωστό δείγμα ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL προσθέτουμε σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 5 mL διαλύματος 5 ppm P διαδοχικά στις 6 φιάλες. Έτσι δημιουργούνται πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και 1.0 ppm (mg P L^{-1}), αντίστοιχα. Κατόπιν, προσθέτουμε αντιδραστήριο B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίζουμε το pH στις τιμές 7 ως 11 με την βοήθεια 1 M NaOH. Τέλος συμπλήρωση απιονισμένου νερού έως την χαραγή.

Τα δείγματα θα αφεθούν 30 λεπτά για την ανάπτυξη κυανού χρώματος. Η διαδικασία μέτρησης ξεκινά με την μέτρηση των γνωστών δειγμάτων ώστε να κάνουμε την καμπύλη βαθμολόγησης.

Ο φώσφορος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P (\text{mg kg}^{-1} \text{ φυτού}) = A * (\text{φορές αραιώσης εκχυλίσματος}) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης όπου αναπτύχθηκε χρώμα/mL εκχυλίσματος που τοποθετήσαμε στη φιάλη όπου αναπτύχθηκε χρώμα}) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης/B}).$$
 Όπου A = ppm P στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση.

Ιχνοστοιχεία

Οι μετρήσεις ιχνοστοιχείων γίνεται σε ατομική απορρόφηση. Ο τελικός τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ιχνοστοιχείων είναι:

$M = A * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης}/B)$, όπου M είναι κατά περίπτωση το Ni, το Mn, ο Zn και ο Cu, A= ppm μετάλλου στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στην ατομική απορρόφηση) και B = βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση. Εδώ, $M (\text{mg kg}^{-1} \text{ φυτού}) = 100 * (A/B)$.

2.3. Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων

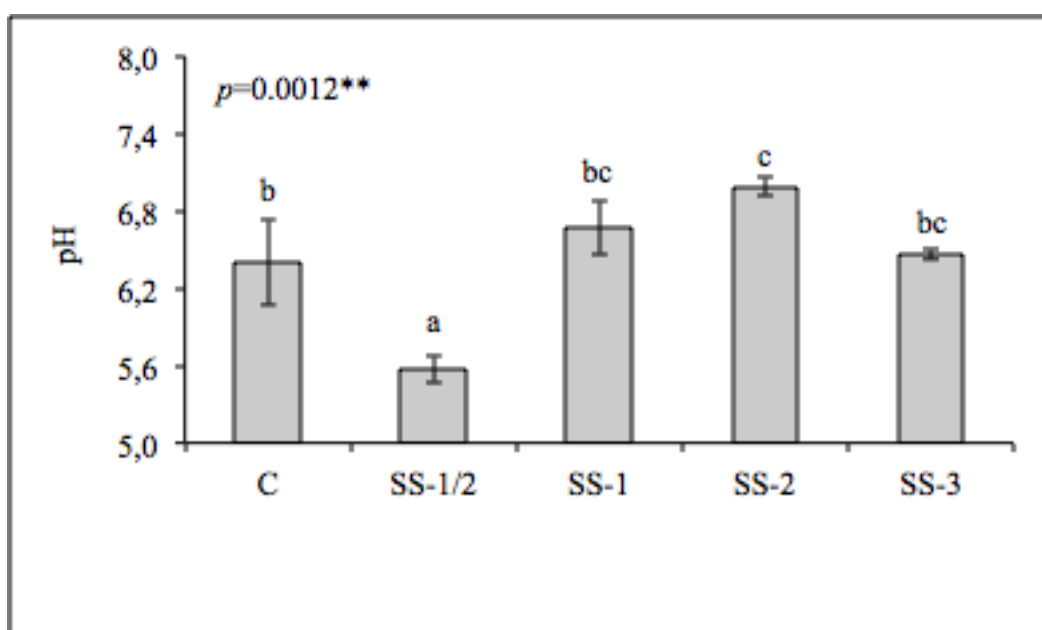
Σε όλα τα δεδομένα έγινε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA), και οι μέσοι όροι συγκρίθηκαν για τις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) στο επίπεδο του $p < 0.05$. Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 2.1.

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1. Αναλύσεις εδάφους

Τιμές pH στο έδαφος

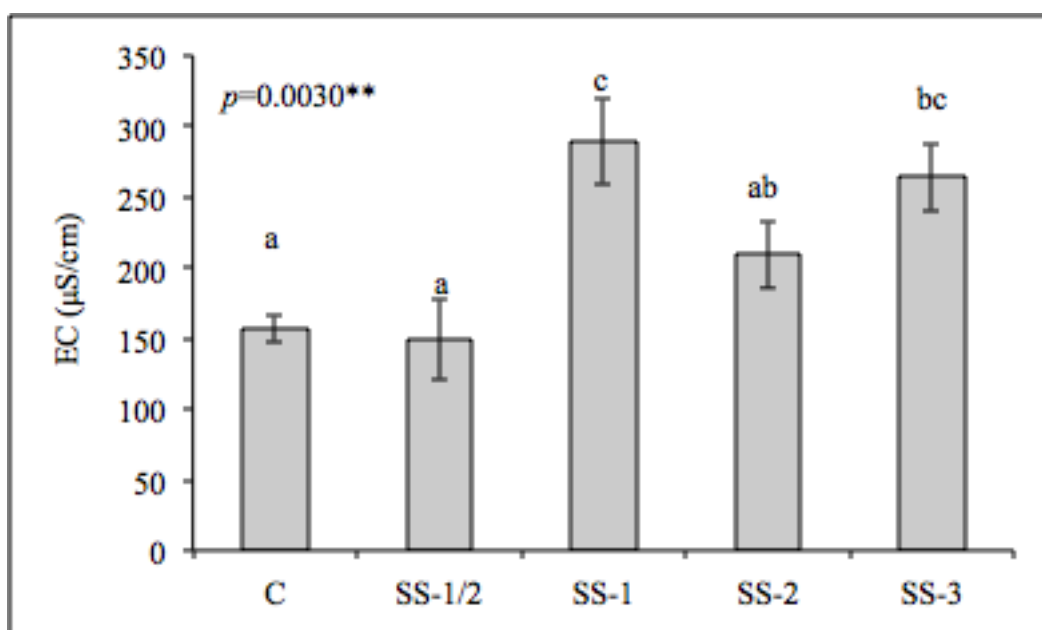
ΣΧΗΜΑ 1



Στο Σχ. 1 βλέπουμε τις τιμές όσον αφορά το pH. Η μέση τιμή για τον C που είναι ο μάρτυρας του πειράματος είναι 6,41. Όπως μαρτυρά και η τιμή του p η τιμή του μάρτυρα διαφέρει σημαντικά με την μέση τιμή της μισής δόσης ιλύος (5,57) καθώς και με την μέση τιμή της διπλάσιας δόσης ιλύος (6,99), η οποία είναι μεγαλύτερη απο το μάρτυρά μας. Αντιθέτως ελάχιστες διαφορές βλέπουμε τόσο στην κανονική δόση ιλύος (6,67) όσο και στην τελευταία μεταχείριση (6,47) (Ziarati et al., 2015).

Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος

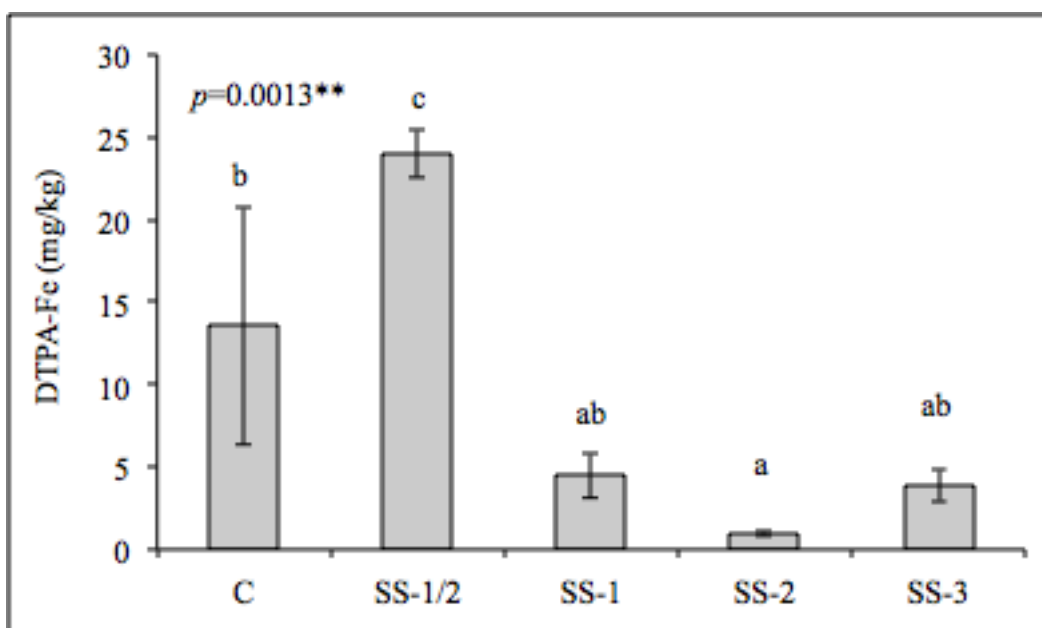
ΣΧΗΜΑ 2



Η τιμή του $p=0.0030^{**}$ στο Σχ. 2 που αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα παρατηρούμε σημαντικές διαφορές του μάρτυρα (157,3) με την τιμή της ολόκληρης δόσης (289,43). Επίσης το δείγμα C διαφέρει σημαντικά και με την τιμή που έχουμε στον πίνακα στη μεταχείριση όπου έγινε προσθήκη ανόργανου λιπάσματος (263,95). Το ακατέργαστο δείγμα σημαντικές διαφορές δεν παρουσιάζει με τη μισή δόση (148,63), ούτε και με την διπλάσια δόση (209,3). Τέλος να σημειωθεί πως και τα τρία αυτά δείγματα (C, SS-1/2, SS-2) μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές (Paneque et al., 2016).

Τιμές σιδήρου στο έδαφος

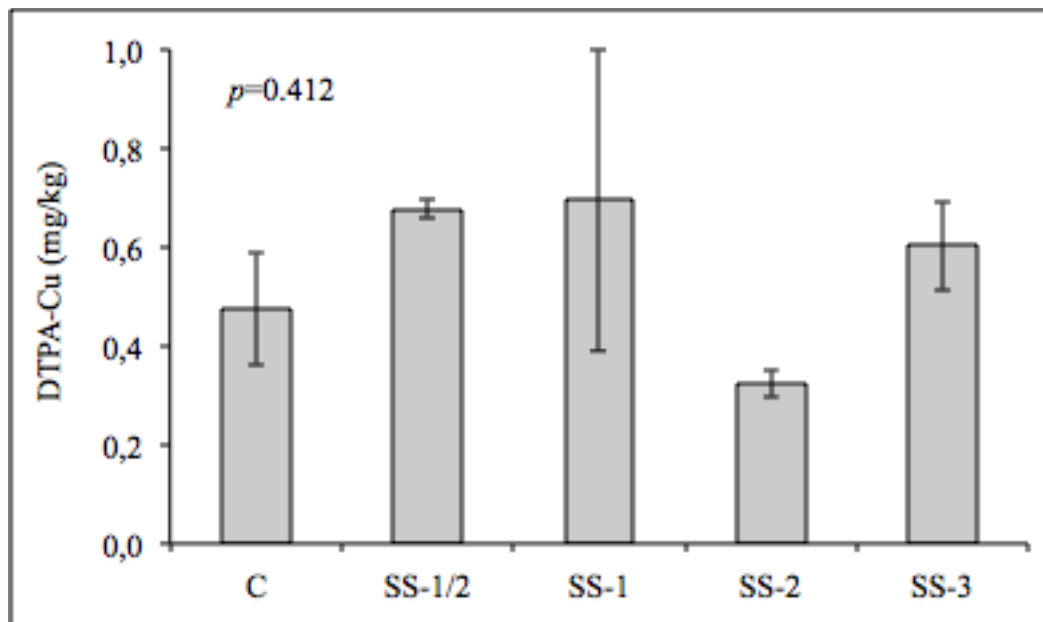
ΣΧΗΜΑ 3



Το Σχ. 3 του Fe μάς δείχνει σημαντικές διαφορές του μάρτυρά μας (13,56) με τη μισή δόση ιλύος (24,02) που βλέπουμε σημαντική αύξηση της τιμής του σιδήρου. Στο δείγμα SS-1, δηλαδή της κανονικής δόσης, υπάρχει μία μη σημαντική μείωση της τιμής (4,48). Όμοια μείωση (3,90) βρίσκουμε στην τελευταία μέτρηση, όπου προστέθηκαν ίσα kg N με την SS-1. Ολοκληρώνοντας, αισθητή μείωση της τιμής (0,98) βλέπουμε στη ράβδο της προσθήκης διπλάσιας δόσης.

Τιμές χαλκού στο έδαφος

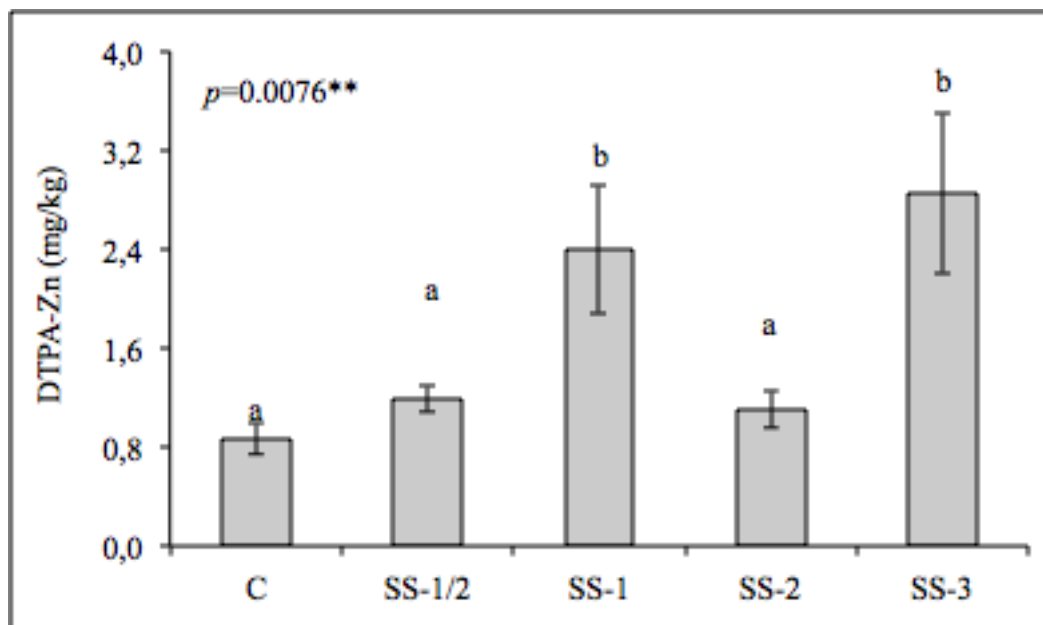
ΣΧΗΜΑ 4



Στο παραπάνω Σχ. 4, παρατηρούμε πως η τιμή του χαλκού σε καμία μεταχείριση δεν είχε σημαντική μετάπτωση προς καμία κατεύθυνση και την τιμή του p να ισούται με 0,412 (Ahumada et al. 2014).

Τιμές ψευδαργύρου στο εδάφος

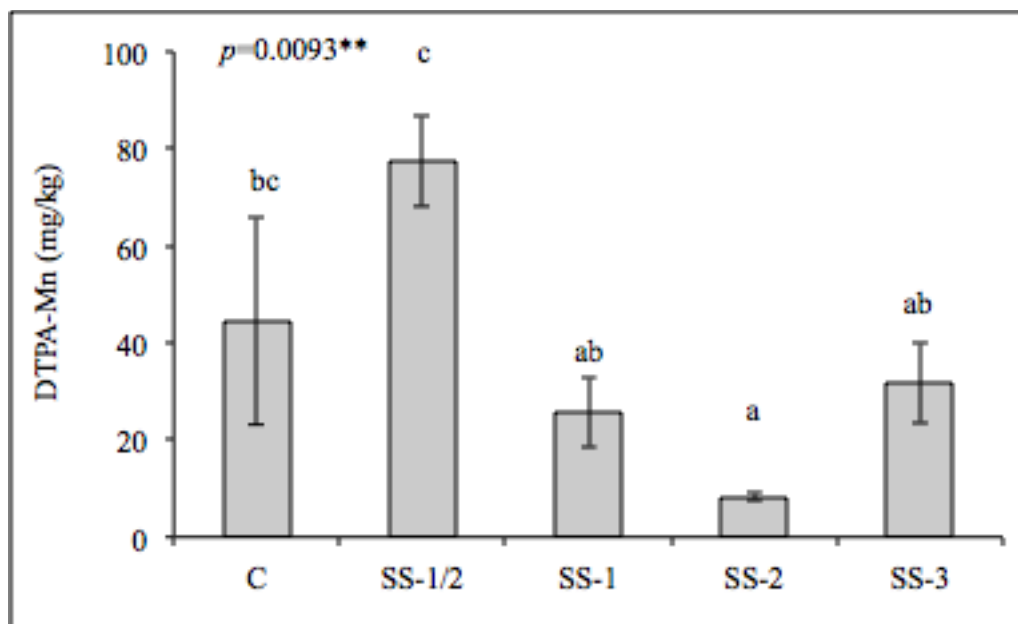
ΣΧΗΜΑ 5



Όσον αφορά το Zn, παρατηρούμε την σημαντική διαφορά της τιμής του μάρτυρα (0,87) με τις τιμές των μεταχειρίσεων που αφορούν την εφαρμογή της κανονικής δόσης ιλύος (2,40) και της εφαρμογής ανόργανου λιπάσματος (2,85), που να σημειωθεί πως αυτά τα δύο δείγματα μεταξύ τους δεν διαφέρουν σημαντικά σε οτιδήποτε έχει να κάνει με το Zn. Μικρές αυξήσεις των τιμών είχαμε στα δυο εναπομείναντα δείγματα (SS-1/2 και SS-2), που θεωρούνται αμελητέες (Giovannetti et al. 2014).

Τιμές μαγγανίου στο έδαφος

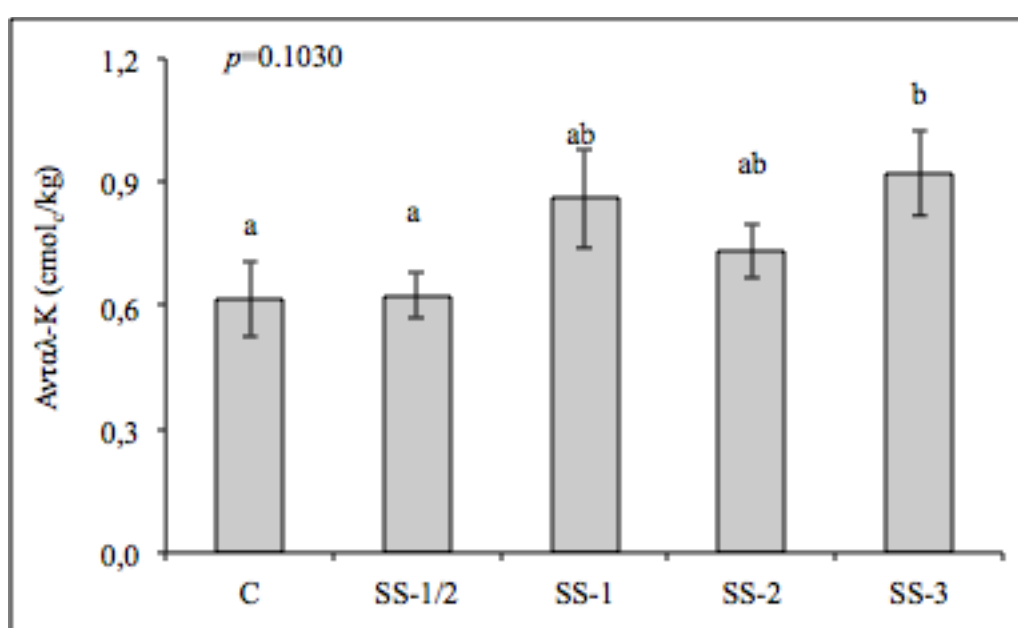
ΣΧΗΜΑ 6



Το $p=0.0093$ στο Σχ. 6 που αφορά το Mn μάς δείχνει την μία σημαντική μείωση της τιμής, όσον αφορά την σύγκριση με τον μάρτυρα (C), και την εντοπίζουμε στην εφαρμογή της διπλάσιας δόσης ιλύος. Από το 44,60 (C) που ήταν μειώθηκε στο 8,36 (SS-2). Κατά τα άλλα, με τις τιμές των υπόλοιπων μεταχειρίσεων σημαντική επιρροή βρίσκουμε στη δεύτερη μεταχείριση με την τιμή να αυξάνεται (77,41) και στην τρίτη και τελευταία να έχουμε πτώσεις στο 25,70 και 31,51 αντίστοιχα, οι οποίες κρίνονται μικρού μεγέθους.

Τιμές καλίου στο έδαφος

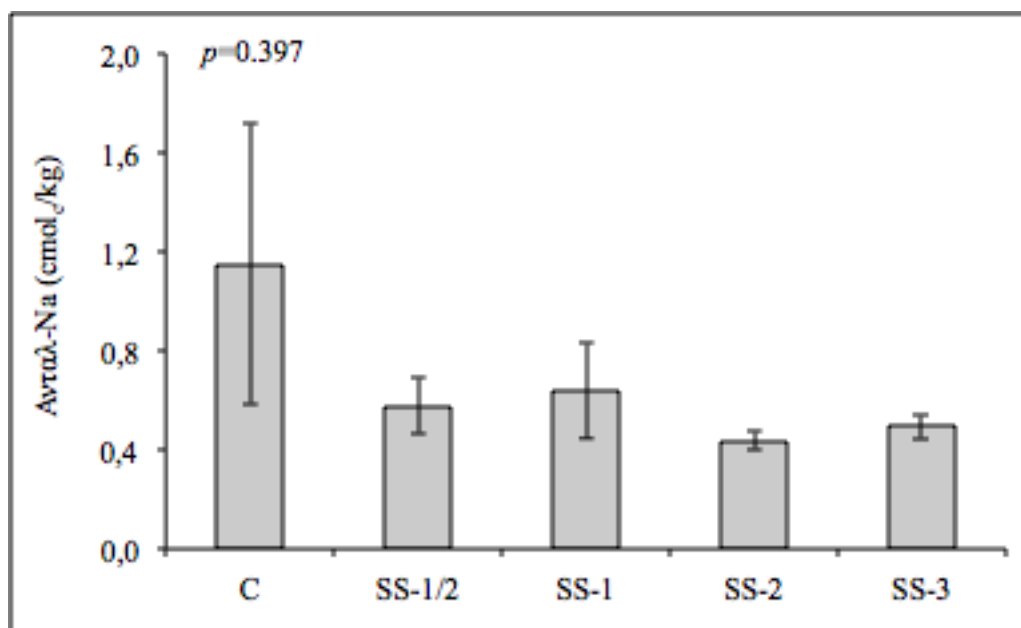
ΣΧΗΜΑ 7



Βλέποντας το Σχ. 7 για το K, η τιμή του μάρτυρα (0,52) έχει ασήμαντες ανόδους στις μεταχειρίσεις που αφορούν: αρχικά την μεταχείριση κατά την οποία προσθέσαμε μισή δόση ιλύος (0,62), την μεταχείριση όπου προσθέσαμε την κανονική δόση (0,86) και τρίτη τη μεταχείριση της εφαρμογής του ανόργανου λιπάσματος (0,73). Αλλά σημαντική αύξηση στο SS-3 που αγγίζει την τιμή 0,92 επιβεβαιώνει την τιμή του p ($=0.1030$) που δείχνει πως κάπου υπάρχει σοβαρή επιρροή στο στοιχείο κάλιο. Να σημειωθεί πως τα δείγματα SS-1/2 , SS-1, SS-2 και τα δείγματα SS-1, SS-2, SS-3 δεν έχουν μεταξύ τους σημαντικές διαφορές (Yuan et al. 2016, Tejada et al. 2013).

Τιμές νατρίου στο έδαφος

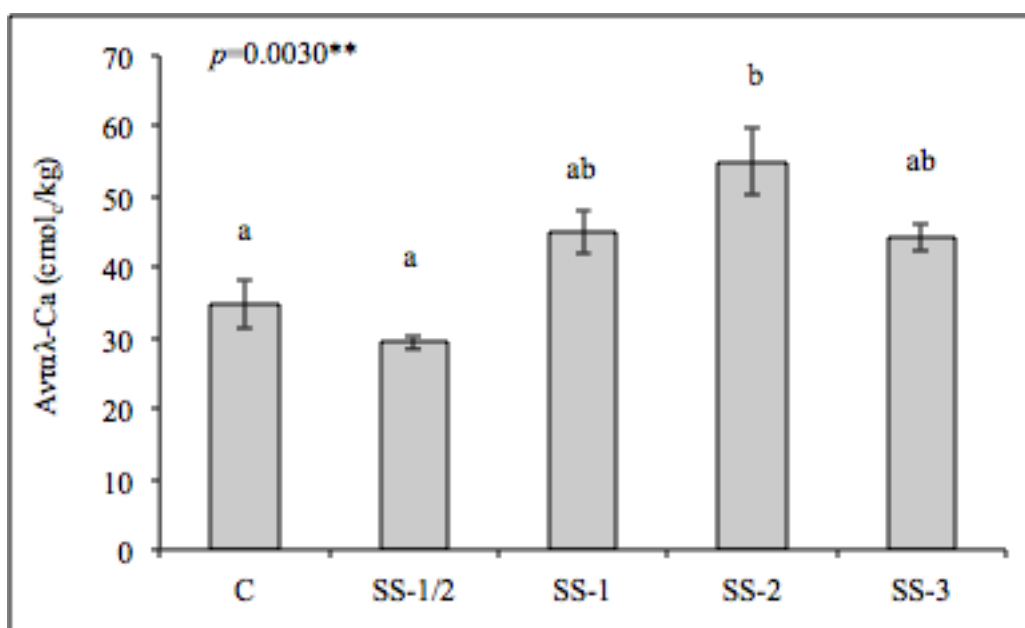
ΣΧΗΜΑ 8



Στο Σχ. 8 βλέπουμε την τιμή του νατρίου στο μάρτυρα να είναι μεγαλύτερη από ότι στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Οι διαφορές των δειγμάτων οδηγούν στο συμπέρασμα πως δεν υπάρχει επίδραση από την προσθήκη ιλύος (SS-1/2, SS-1, SS-2) και την προσθήκη λιπάσματος (SS-3).

Τιμές ασβεστίου στο έδαφος

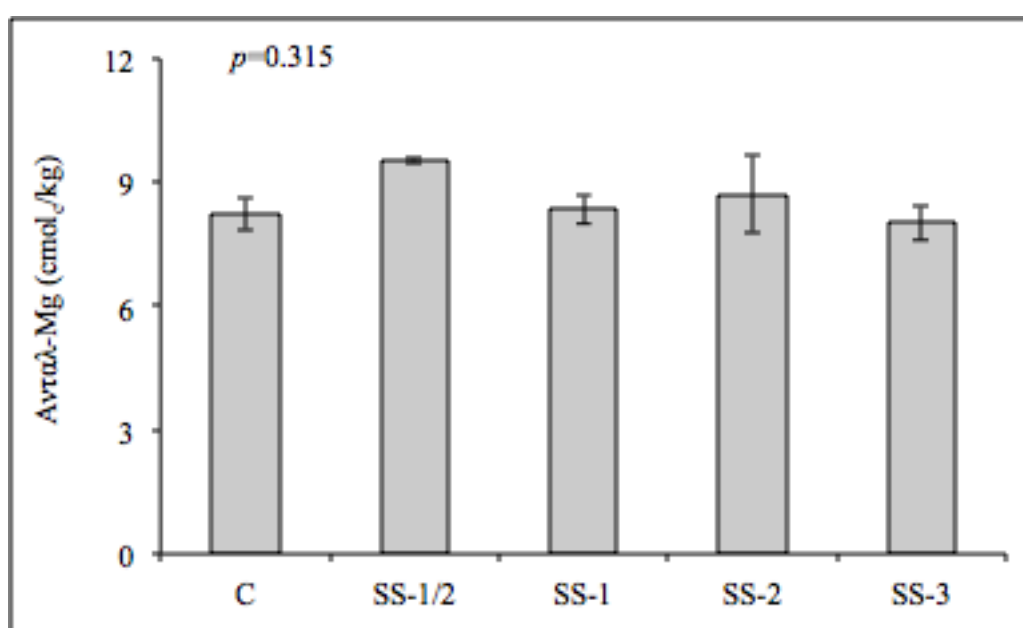
ΣΧΗΜΑ 9



Σε σχέση με την τιμή του μάρτυρα (34,69), στο παραπάνω Σχ. 9, παρατηρούμε σημαντική αύξηση της ποσότητας ασβεστίου κατά την εφαρμογή της διπλάσιας δόσης ιλύος (54,97). Έχουμε ακόμα δύο αυξήσεις σε σχέση πάντα με το δείγμα C (μάρτυρας), η μία συναντάται στη ράβδο που εκφράζει την εφαρμογή του λιπάσματος με 13,8 kg N (SS-3) με τιμή 44,22 και την δεύτερη στην ράβδο που εκφράζει την εφαρμογή της κανονικής δόσης ιλύος (SS-1) με τιμή 44,95 αλλά αυτήν την φορά είναι ασήμαντες. Η μοναδική μείωση, αν και ελάχιστη παρατηρήθηκε κατά την μισή δόση ιλύος όπου η τιμή μειώθηκε στο 29,40.

Τιμές μαγνησίου στο έδαφος

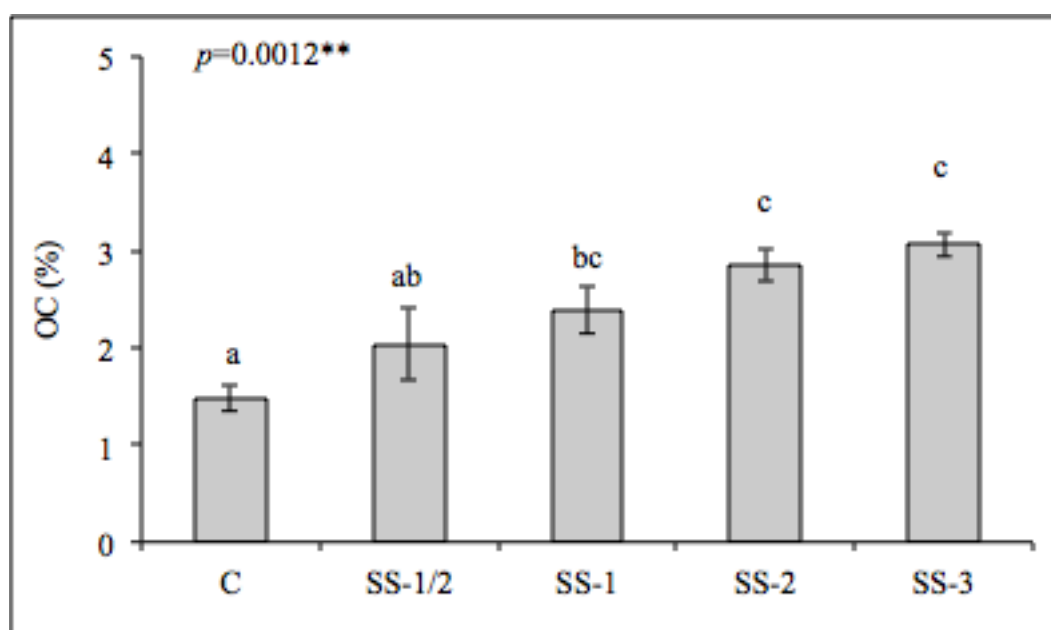
ΣΧΗΜΑ 10



Το παραπάνω Σχ. 10 η τιμή του $p(=0.315)$ μάς καταδεικνύει τις ασήμαντες διαφορές που παρατηρήθηκαν στο μαγνήσιο.

Τιμές οργανικής ουσίας στο έδαφος

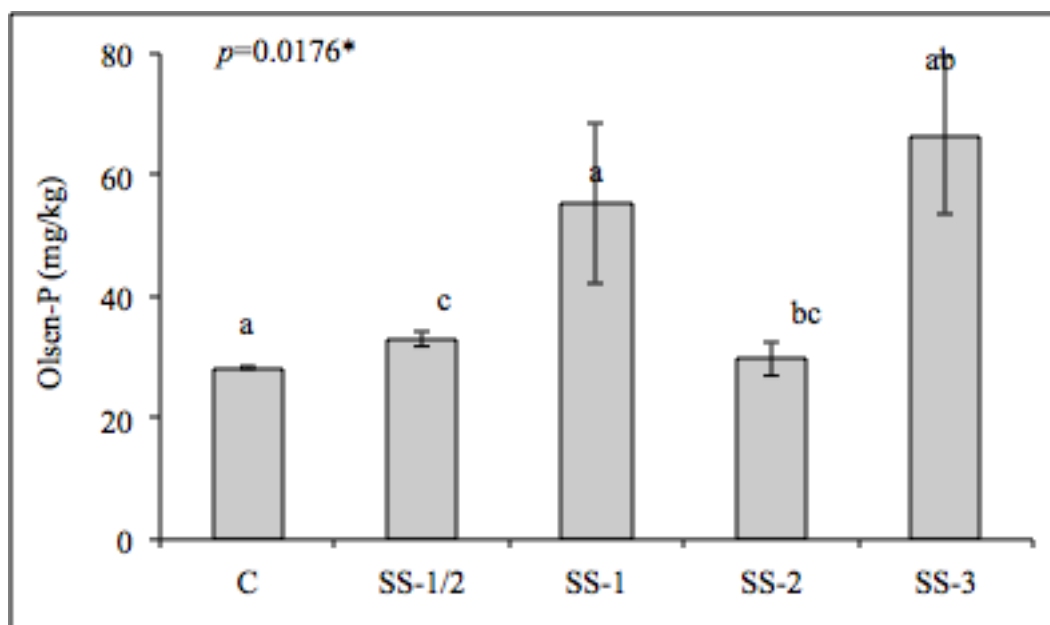
ΣΧΗΜΑ 11



Στο Σχ. 11 της οργανικής ουσίας ασήμαντη διαφορά στην τιμή (1,48) του μάρτυρα παρατηρείτε μόνο με την τιμή (2,03) της εφαρμογής μισής δόσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της τιμής ανάλογα με τη δόση ιλύος που προσθέσαμε. Να σημειωθεί βέβαια πως τα δείγματα SS-1, SS-2, SS-3 δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, αντίστοιχα οι τιμές τους είναι 2,39, 2,85, 3,06. Τέλος, στον μάρτυρα συναντάται η χαμηλότερη τιμή οργανικής ουσίας που είναι κάτι απολύτως λογικό (Belhaj et al., 2016, Zlatareva et al. 2016).

Τιμές φωσφόρου στο έδαφος

ΣΧΗΜΑ 12

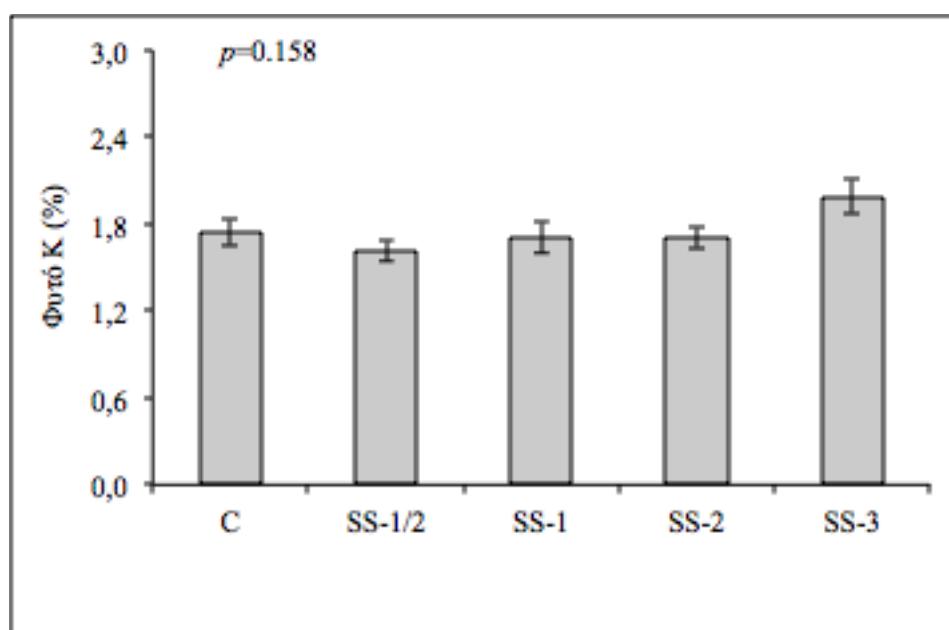


Όσον αφορά τις μετρήσεις εδάφους ως προς τον φώσφορο στο Σχ. 12 με το $p=0.0176^*$ συμπεραίνουμε πως το δείγμα C με τιμή 28,15 διαφέρει σημαντικά με το SS-1/2 όπου η τιμή του P αυξήθηκε στο 33,12 καθώς επίσης σημαντική διαφορά παρατηρούμε και με το δείγμα SS-2 το οποίο έχει τιμή 29,71. Ασήμαντες αυξήσεις είχαμε με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις με την SS-3 να μην διαφέρει σημαντικά με την SS-1 και SS-2. Τέλος, αξίζει να σχολιάσουμε πως χωρίς την εφαρμογή ιλύος, δηλαδή στο μάρτυρα έχουμε την χαμηλότερη τιμή φωσφόρου (Vogel et al., 2015).

3.2 Αναλύσεις φυτού

Τιμές καλίου στο φυτό

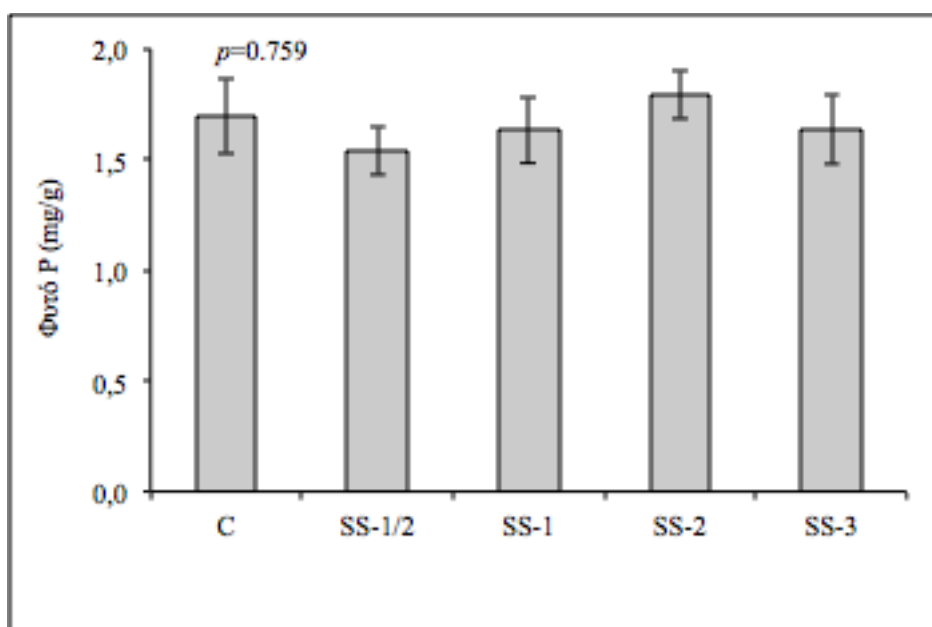
ΣΧΗΜΑ13



Στο Σχ. 13 που δείχνει τις τιμές καλίου του φυτού βλέπουμε πως δεν υπάρχουν σημαντικές επιδράσεις ($p=0,158$) στις τιμές των δειγμάτων τόσο στις μεταξύ τους συγκρίσεις όσο και στην σύγκριση με το αρχικό δείγμα.

Τιμές φωσφόρου στο φυτό

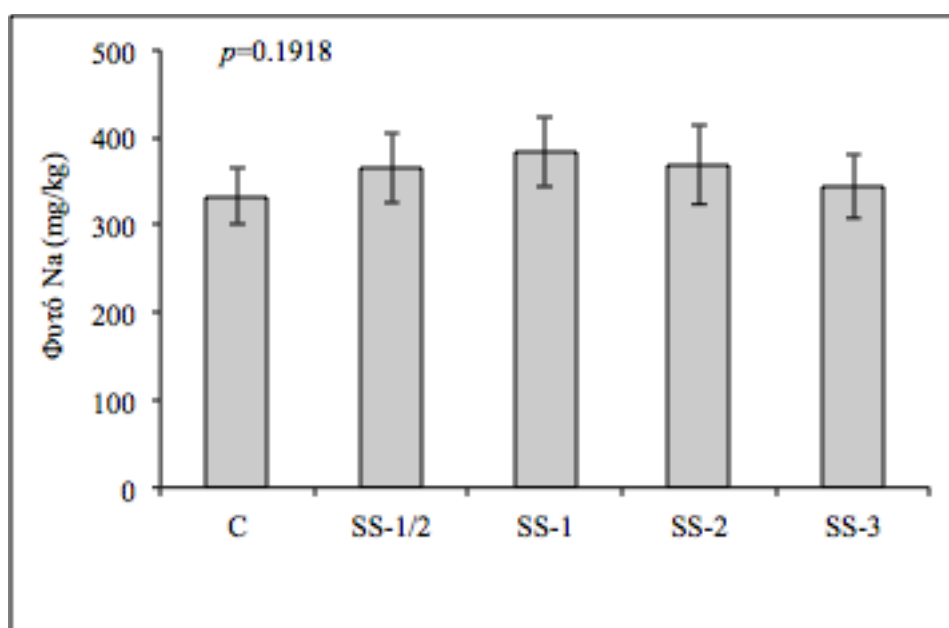
ΣΧΗΜΑ 14



Οι τιμές του φωσφόρου στο Σχ. 14 δείχνουν πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον μάρτυρα (C).

Τιμές νατρίου στο φυτό

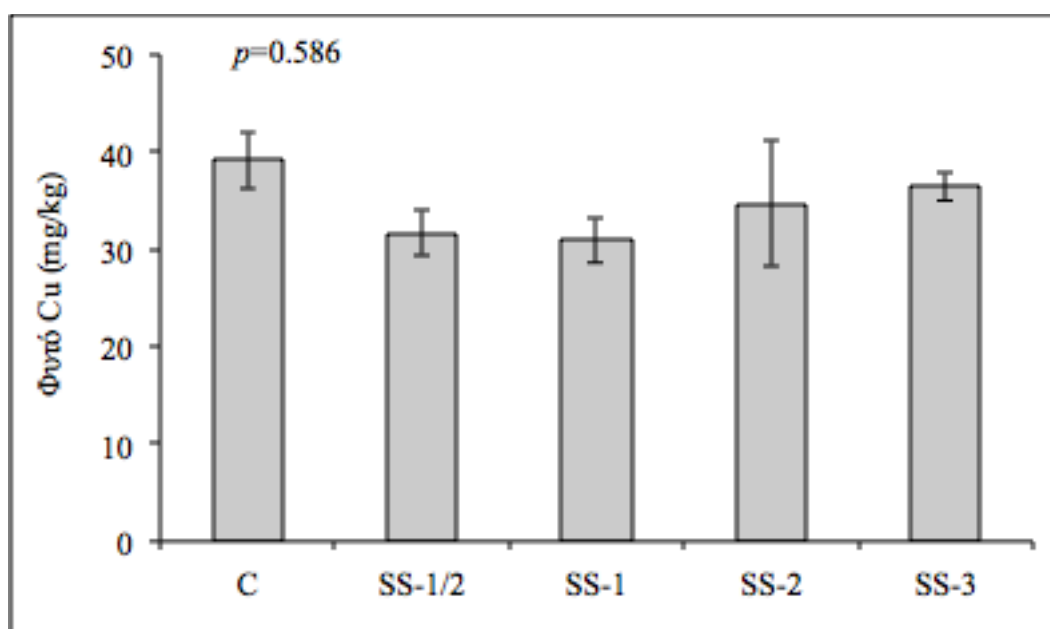
ΣΧΗΜΑ15



Τιμή $p=0.1918$ που σημαίνει πως δεν υπάρχει σημαντική επιρροή στην περιεκτικότητα νατρίου στα φυτά.

Τιμές χαλκού στο φυτό

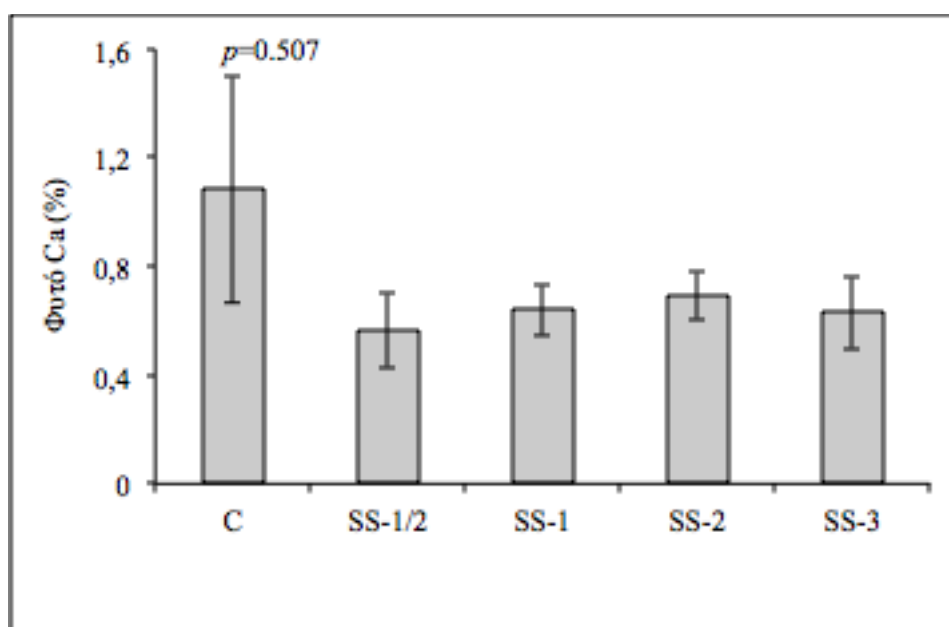
ΣΧΗΜΑ 16



Η τιμή του $p=0.586$ όσον αφορά το Σχ.16 για το χαλκό καταδεικνύει πως οι τιμές περιεκτικότητας του έχουν επηρεαστεί ελάχιστα από την εφαρμογή ιλύος καθώς και από την εφαρμογή λιπάσματος.

Τιμές ασβεστίου στο φυτό

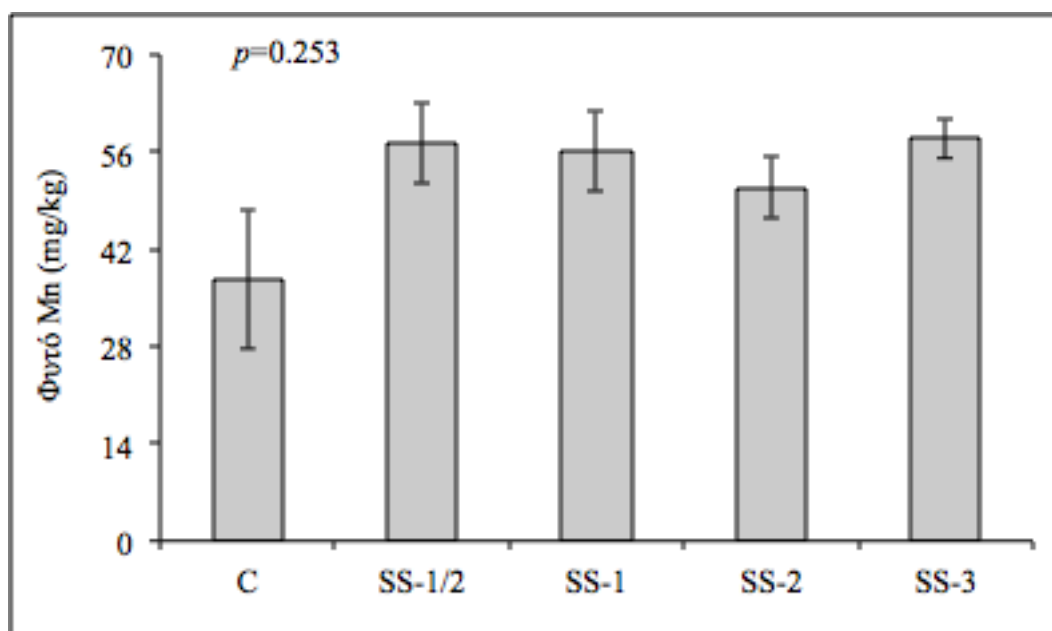
ΣΧΗΜΑ 17



Όσον αφορά το ασβέστιο στο Σχ. 17, δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των υπόλοιπων δειγμάτων.

Τιμές μαγγανίου στο φυτό

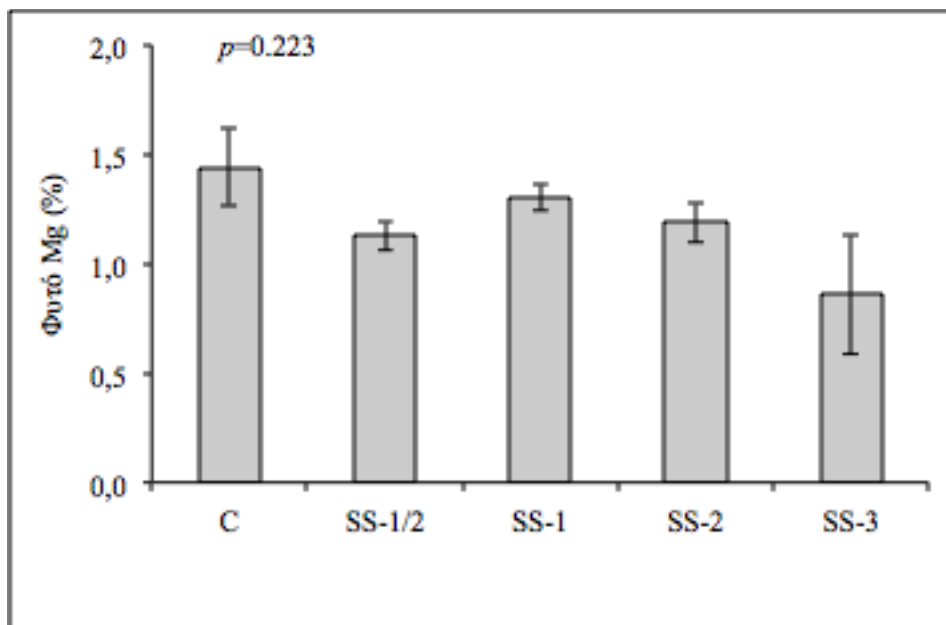
ΣΧΗΜΑ 18



$p=0.253$, αυτό σημαίνει ελάχιστη επίδραση στην περιεκτικότητα μαγγανίου των φυτών.

Τιμές μαγνησίου στο φυτό

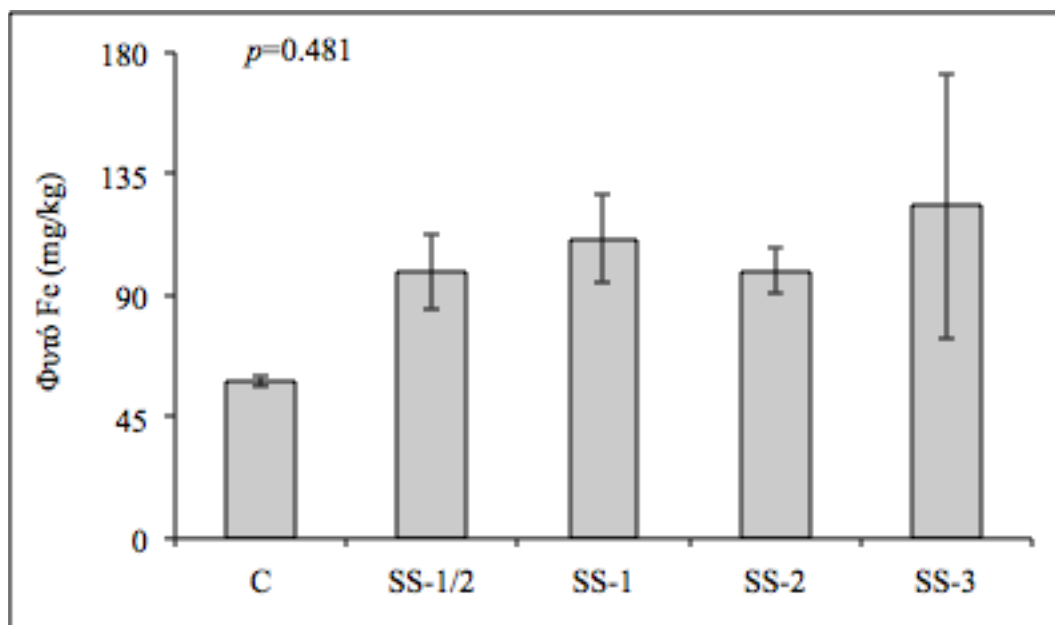
ΣΧΗΜΑ 19



Φτάνοντας στο μαγνήσιο βλέπουμε τις τιμές να μένουν σχεδόν ανεπηρέαστες από την εφαρμογή ιλύος και λιπάσματος στο Σχ. 19 ($p=0.223$).

Τιμές σιδήρου στο φυτό

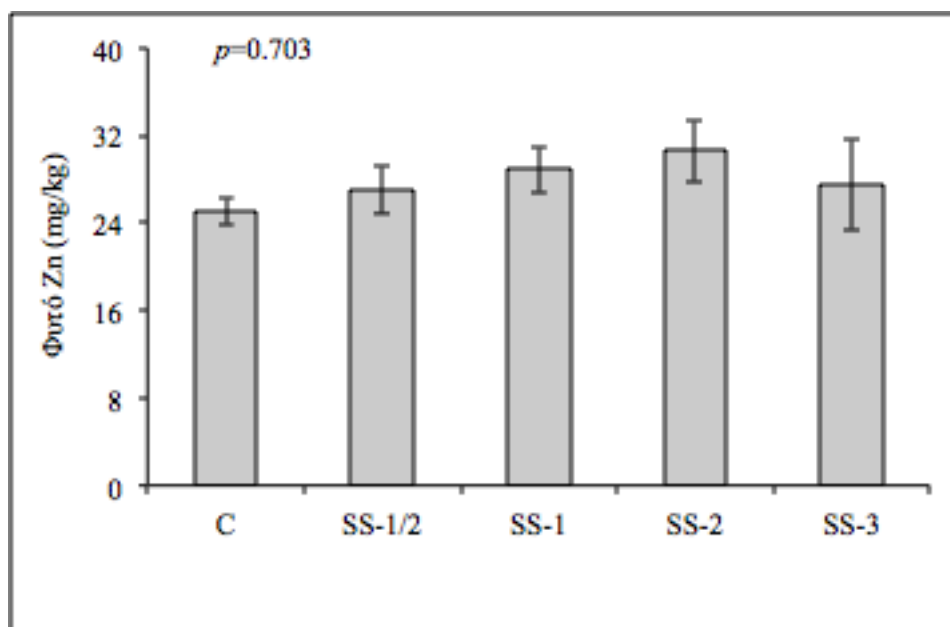
ΣΧΗΜΑ 20



Οι τιμές σιδήρου στο φυτό όπως συμπαιρένουμε από το Σχ. 20 ($p=0.481$) δεν επηρεάστηκαν σημαντικά σε καμία μεταχείριση με γνώμονα, φυσικά, τον μάρτυρά μας.

Τιμές ψευδαργύρου στο φυτό

ΣΧΗΜΑ 21



Το παραπάνω Σχ. 21 αναφέρεται στον ψευδάργυρο. Με βάση τον μάρτυρα παρατηρούμε ασημαντες αυξήσεις των τιμών, με την μεγαλύτερη να είναι στην μεταχείριση κατά την οποία προσθέσαμε διπλάσια δόση ιλύος.

Συμπεράσματα

- Οι τιμές της οργανικής ουσίας ήταν ανάλογες της ποσότητας ιλύος που προσθέσαμε στο έδαφος.
- Στα μέταλλα Mg, Na, Cu δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταπτώσεις στην περιεκτικότητα τους στο έδαφος ενώ οι τιμές του Fe επηρεάστηκαν και αυτές ελάχιστα.
- Στο φυτό η εφαρμογή ιλύος και λιπάσματος δεν επηρέασε την περιεκτικότητά του τόσο σε θρεπτικά στοιχεία (P-K) όσο και σε ιχνοστοιχεία.
- Κατά τις μεταχειρίσεις SS-1, προσθήκη 717 kg ιλύος και SS-3, κατά την οποία έγινε προσθήκη ανόργανου λιπάσματος (και στις δύο περιπτώσεις ίση ποσότητα N), η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία και σε ιχνοστοιχεία παραμένει στα ίδια επίπεδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahumada, I., Sepúlveda, K., Fernández, P., Ascar, L., Pedraza, C., Richter, P., Brown, S. 2014. Effect of biosolid application to Mollisol Chilean soils on the bioavailability of heavy metals (Cu, Cr, Ni, and Zn) as assessed by bioassays with sunflower (*Helianthus annuus*) and DGT measurements. *Journal of Soils and Sediments* 14, 886-896.

Alloway, B.J., 2013. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer, Dordrecht, 11–50.

Antoniadis, V., Koutroubas, SD., Fotiadis, S. 2015. Nitrogen, phosphorus, and potassium availability in manure- and sewage sludge-applied soil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 46(3):393–404

Alves, MC., Paz Gonzalez, A., Colorado, G., Perecin Junior, H., Vidal, V. 2006. Influence of biosolids rate on chemical properties of an Oxisol in Sao Paulo, Brazil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 37,2481-2493.

Arnon, DI. and Stout, PR. (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14. 371–375.

Belhaj, D., Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, M., Abdallaj, F.B., Ayadi, H., Kallel, M. 2016. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). *Environmental Science and Pollution Research* 23. 168-177.

Besga, G., Pinto, M., Rodriguez, M., Lopez F.A., Balcazar, N., 1997. Agronomic and nutritional effects of Linz-Donawitz slag application to two pasture in northern Spain. *Nutr. Cycling Agroecosys*, 46: 157–67

Bremner, P.M. & Preston, G.K., 1990. A field comparison of sunflower (*Helianthus annuus*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) in a long drying circle: II – Plant water relations, growth and yield. *Aust J Agric Res* 41: 463–478.

Brownell, PF. (1968) Sodium as an essential micronutrient element for some higher plants. *Plant Soil* 28:161–164

Codex Alimentarius Committee, 2005. Codex Standard for Named Vegetable Oils. Codex-Stan 210, http://www.codexalimentarius.net/download/standards/336/CXS_210e.pdf (accessed 11 May 2010).

Connor, D.J., and Sandras, V.O. 1992. Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Research* 30: 333–389.

Cooke, G.W. 1979. Some properties of British soils. *J. Soil Science*, 30: 187 – 213.

Danalatos, NG, Archontoulis, SV, Geronikolou, L, Papadakis, G, 2005. Biomass and seed yield of sunflower as alternative energy crop in Greece. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 14th European Biomass Conference, 17-21 October Paris, France, 308-311.

Diacono, M., Montemurro, F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 401–422.

Ferreiro-Dominguez, N., Rigueiro-Rodríguez, A., Mosquera-Losada, M.R., 2011. Response to sewage sludge fertilisation in a *Quercus rubra* L. silvopastoral system: soil, plant biodiversity and tree and pasture production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141, 49–57.

FAO, 2014. Sunflower, Crude and Refined Oil, Rome, Italy

Fytli, D., Zabaniotou, A., 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 116–140

Geronikolaou, L., Archontoulis, S.V., Danalatos, N.G., Papadakis G., Kyritsis, S., 2005. Economic Opportunity for Seed Oil Production in S. Europe by New Sunflower Varieties and under New C.A.P. Conditions. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 14th European Biomass Conference, 17-21 October Paris, 1917-1920

Giovannetti, F., Wanderley, J., Merlino, L.C.S., Riviane, M., Peruca, G.M., Lavres, J.J. 2014. Dynamics of zinc (Zn) and nickel (Ni) in a Cerrado Oxisol treated with sewage sludge for a long period. *Australian Journal of Crop Science* 8.

Heckman, J.R., J.T. Sims, D.E. Beegle, F.J., Coale, S.J. Herbert, T.W., Bruulsema, and W.J., Bamka. 2003. Nutrient removal by corn grain harvest. *Agron. J.* 95:587–591.

Jarausch-Wehrheim, B., Mocquot, B., Mench, M. 2001. Effect of long-term sewage sludge application on the distribution of nutrients in maize (*Zea mays* L.). *J. Plant Nutrit.*, 24 (9): 1347-1365.

Lajara, J.R., Diaz, U., Quidiello, R.D., 1990. Definite influence of location and climatic conditions on the fatty acid composition of sunflower oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67, 618–623.

Lehr, J.J., (1953) Sodium as a plant nutrient. *J Sci Food Agric* 4:460–471

LUO, Y.M., CHRISTIE, P. Bioavailability of copper and zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, v.27, p.335-342, 1998.

Mantovani, J.R., Ferreira, M.E., Cruz, M.C.P., Barbosa, J.C., 2005. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29(4):817-824.

Marschner, K., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition. London, Academic Press, 889

Miller, J.F., Vick, B.A., 1999. Inheritance of reduced stearic and palmitic acid content in sunflower seed oil. *Crop Sci.* 39, 364–367.

Nicholas, D.J.D, 1961. Minor mineral nutrients. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 11, 314-324.

Pan, G.X., Xu, X.W., Smith, P., Pan, W., Lal, R., 2010. An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 136(1-2):133-138.

Paneque M., De la Rosa, J.M., Franco-Navvaro, J.D., Colmenero-Flores, J.M., Knicker, H. 2016. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. *Catena*147. 280-287.

Pereyra-Irujo, G.A., Izquierdo, N.G., Covi, M., Nolasco, S.M., Quiroz, F., Aguirrezábal, L.A.N., 2009. Variability in sunflower oil quality for biodiesel production: A simulation study. *Biomass and Bioenergy* 33: 459-468.

Robertson, J.A., Chapman, J.R., Wilson, J.R., 1978. Relation of days after flowering to chemical composition and physiological maturity. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 55, 266–269.

Rogalla, H., and Rmheld, V., 2002. Role of leaf apoplast in silicon mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. *Plant Cell Environ.* 25, 549-555.

Rudolfs, W, 1928. Sewage sludge as fertilizer. *Soil Science*, 26, 455-58.

Samaras, V, Tsadilas, CD, Stamatiadis, S., (2008) Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching. *Agron J* 100:477–483

Sandras, V.O. and Hall, A.J. (1989). Patterns of water availability for sunflower crops in semi-arid central Argentina. A simulation based evaluation of their interaction with cropping strategies and cultivar traits. *Agricultural Systems* 31,221-238.

Singh, R.P. and Agrawal, M., (2007). Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere* 67, 2229-2240.

Škorić, D., 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. *Field Crops Research* 30(3-4): 231-371.

Smith, S.R., 1996. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. Nutrients, chap. 9. CAB International, UK, pp. 155±206.

Sobrino, E., Tarquis, A.M., Diaz, M.C., 2003. Modeling the oleic acid content in sun-flower oil. *Agron. J.* 95, 329–334.

Taiz, L. and Zeiger, E. (1998) *Photosynthesis: The light reaction*. In: *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc, Sunderland, Massachusetts pp: 155-250.

Tejada, M., Garcia-Martinez, A.M., Rodriguez-Morgado, B., Carballo, M., Garcia-Antras, D., Aragón, C., Parrado, J. 2013. Obtaining biostimulant products for land application from the sewage sludge of small populations. *Ecological Engineering*. 50 31-36

Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N., Dimoyiannis, D., 1995. The influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Communication Soil Science and Plant Analyses* 26(15-16),2603-2619.

Van-Camp, Lieve, Benilde Bujarrabal, Anna Rita Gentile, Robert, J.A., Jones Luca Montanarella, Claudia Olazabal, Senthil-Kumar Selvaradjou (eds.), 2004. Reports of the technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume I Introduction and Executive Summary.. EUR 21319 EN/1

Vogel, T., Nelles, M., Eichler-Löbermann, B., 2015. Phosphorus application with recycled products from municipal waste water to different crop species. *Ecological Engineering* 83,pp 466-475

Warren, R.G., and Johnston, A.E., (1962). Barnfield. Rothamsted Experimental Station Report for 1961, quoted in Syers, 1998.

Weber, J., A., Karczewska, J., Drozd, M., Licznar, S., Licznar, E., Jamroz, and A., Kocowicz. , 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry* 39:1294-1302.

Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen Y., Lei, T. 2016. Sewage sludge biochar: Nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma* 267,17-23.

Zdruli, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2004. Organic Matter in the Soils of Southern Europe. European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN, 16 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Ziarati, P., Ziarati, N.N., Nazeri, S., Saber-Germi, M. 2015. Phytoextraction of heavy metals by two sorghum species in treated soil using black tea residue for cleaning up the contaminated soil. *Oriental Journal of Chemistry* 31.

Zlatareva, E., Marinova, S., Baykov, B., Mitova, T., Petrova, V., Kolchakov, V., 2016. Establishment of changes in the system “soil-fertilizer-plant” as a result of fertilization with sludge from wastewater treatment plant. *Energy Solutions to Combat Global Warming* 33. 339-349

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αμπατζόγλου, Κ., 1979. Ηλίανθος (*Helianthus annuus* L.). Το ερευνητικό έργο του Ινστιτούτου Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών. Σίνδος, σσ. 193-196.

Αυγουλάς, Χ., 2008. Σημειώσεις για τα Ελαιούχα και Κλωστικά Φυτά . Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, 19 σελ.

Βαρδαβάκης, Ε., 1994. Συστηματική Βοτανική. Έκδοση Τέταρτη. Τόμος Ι, Εκδόσεις Δ.Κ. Σαλονικίδη, Θεσσαλονίκη.

Βερεσόγλου, Δ.Σ. 2004. Οικολογία, Β' Έκδοση. Λάρισα: Περιφερειακές Εκδόσεις «έλλα».

Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ ., 2002. Βιο μηχανικά φυτά: Βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά – ελαιοδοτικά – ζαχαρότευτλα - καπνός. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.

Δαναλάτος Ν. και Αρχοντούλης, Σ., 2008. Οδηγός καλλιεργητικών φροντίδων, αγριαγκινάρας, ηλίανθου και σόργου. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Δροσόπουλος, Ι., 1998. Φυσιολογία φυτών. Εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κανάκης, Λ. Γ., 2003. Γενική Λαχανοκομία, σελ 335. Έκδοση ΑΓΡΟΤΥΠΟΣ, Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ., (2004). “Γονιμότητα Εδαφών” , Εκδόσεις Zymel.

Σφήκας, Α.Γ., 1988. Ειδική Γεωργία ΙΙ. Βιομηχανικά φυτά: Θεσσαλονίκη

Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993. Ο Ηλίανθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών

Οδηγία 86/278/ΕΕ « Σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία».

Κ.Υ.Α. 80568/4225/1991 « Για τη χρήση της ιλύος που προέρχεται από οικιακά και αστικά απόβλητα στη γεωργία (Φ.Ε.Κ. 6641/91, 07- 8-1991)».

Φασούλας, Α.Κ., Σενλόγλου, Ν., 1966. Η προσαρμοστικότητα των φυτών μεγάλης καλλέργειας στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη